

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção
Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo

TATIANI DE MORAES BOLOGNESI
R.A. 617158-1

**“Acústica e intervenção no ambiente construído:
mapeamento dos riscos e estimativa de redução do ruído a partir
de propostas de intervenção em uma indústria metalúrgica”**

Santa Bárbara D'Oeste
2008

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção
Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo

TATIANI DE MORAES BOLOGNESI
R.A. 617158-1

**“Acústica e intervenção no ambiente construído:
mapeamento dos riscos e estimativa de redução do ruído a partir
de propostas de intervenção em uma indústria metalúrgica”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Metodista de Piracicaba para obtenção do título de Mestre, na área de pesquisa de Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Rodolfo Andrade de Gouveia Vilela

Santa Bárbara D'Oeste
2008

FICHA TÉCNICA

Tatiani de Moraes Bolognesi R.A. 6171581

Universidade Metodista de Piracicaba

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção

Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo

Dissertação: “Acústica e intervenção no ambiente construído: mapeamento dos riscos e estimativa de redução do ruído a partir de propostas de intervenção em uma indústria metalúrgica”

Orientador: Prof. Dr. Rodolfo Andrade de Gouveia Vilela

Revisão de texto:

Camila Campos Lourenço

Luana Campos Lourenço

Eduardo Massuh Cury

Santa Bárbara d' Oeste, junho de 2008.

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção
Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo

**“Acústica e intervenção no ambiente construído:
mapeamento dos riscos e estimativa de redução do ruído a partir
de propostas de intervenção em uma indústria metalúrgica”**

Tatiani de Moraes Bolognesi

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

Prof. Dr. Rodolfo Andrade de Gouveia Vilela
Presidente e Orientador / Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção /
Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo – UNIMEP

Prof. Dr. Paulo Jorge de Moraes Figueiredo
Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção / Faculdade de Engenharia,
Arquitetura e Urbanismo – UNIMEP

Prof^a. Dr^a. Renata Faccin
Centro Universitário de Araras Dr. Edmundo Ulson - UNAR

Curso de pós-graduação na área de Gestão Ambiental, dentro da linha de pesquisa Ergonomia e Saúde do Trabalhador da Universidade Metodista de Piracicaba.

Santa Bárbara D'Oeste

2008

“O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – Brasil”.

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, Enio e Maria Aparecida que sempre me incentivaram a estudar e pelo carinho a mim dispensado.

À minha irmã Alini pelos cuidados e atenção a mim dedicados.

À minha amiga Bianca pelo apoio e ajuda durante a elaboração deste trabalho.

Agradecimentos

À Deus pelas oportunidades de transformar sonhos em realidade.

À toda minha família pela grande torcida e fundamental apoio.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rodolfo A. G. Vilela, por acreditar em mim e ter me conduzido pelos árduos caminhos da produção desse trabalho.

À empresa RKM – Equipamentos Hidráulicos, por abrir as portas de linha de produção para a realização deste trabalho, em especial a Ana Lúcia do departamento de Recursos Humanos, por sempre conduzir os contatos dentro da empresa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela bolsa modalidade II, que permitiu desenvolver e aprofundar meus estudos com dedicação integral.

Aos professores Paulo Jorge M. Figueiredo e Renata Faccin pela contribuição e ajuda na organização deste trabalho.

As minhas amigas de república pelo carinho e compreensão.

A todos que direta ou indiretamente participaram desta pesquisa, os meus agradecimentos.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

1. APRESENTAÇÃO	1
2. INTRODUÇÃO	2
2.1. Objetivos	5
2.1.1. Geral	5
2.1.2. Específicos	5
2.2. Apresentação dos capítulos	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1. Definição, caracterização física e comportamental do som	7
3.1.1. Ruído industrial e formas de controle	13
3.2. O ruído e o homem	22
3.3. Som, ambiente e indústria	28
3.3.1. Tratamento acústico e reverberação	34
3.4. Legislação e normas técnicas de medição dos NPS	39
3.4.1. Como avaliar a exposição (dosimetria)	42
3.5. Avaliação Pós Ocupação – APO aplicada em indústrias	44
3.5.1. Indicativas de aplicação de APO	47
3.5.2. APO na indústria	48
4. MATERIAIS E MÉTODOS	51
4.1. Projeto do Fundo de Apoio à Extensão – FAE	51
4.1.1. Propostas de intervenção projeto FAE	57
4.1.1.1. Intervenções nas fontes	57
4.1.1.2. Intervenção no trajeto e nas mudanças na estrutura	59
4.2. Métodos de complementação ao diagnóstico	61
5. RESULTADOS	63
5.1. Dosimetria pontual	63
5.2. APO e gerenciamento das estações de trabalho	65
5.3. Análise dos resultados diante da discussão da atenuação do ruído	70
6. CONCLUSÃO	73
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Visão bidimensional da propagação do som a partir da fonte pontual	7
Figura 2 – Visualização de uma Senóide de Onda ou Onda Senoidal	8
Figura 3 – Esquema do comportamento da incidência de onda	11
Figura 4 – Esquema da formação da escala em decibéis	12
Figura 5 – Instalação de amortecedor contra vibração	14
Figura 6 – Instalação de blindagem rígida e amortecedor na máquina	15
Figura 7 – Instalação de blindagem rígida	15
Figura 8 – Bocal amplificador de ar	16
Figura 9 – Gráfico de atenuação do ruído com o uso do bocal amplificador de ar	17
Figura 10 – Esquemática do ruído refletido, direto e transmitido por via sólida	19
Figura 11 – Audiogramas – registro normal, perda inicial e avançada causadas pela PAIR	24
Figura 12 – Escala auditiva do homem	26
Figura 13 – Comparativo do interior de uma fábrica automobilista dos anos 50 e a atual realidade interna	32
Figura 14 – Ressonadores de Helmholtz simples	37
Figura 15 – Comportamento do som no ressonador com material absorvente	37
Figura 16 – Comportamento do som no ressonador com espaçamento do ar	39
Figura 17 – Placas de fibro cimento (calhetão) e alvenaria de concreto	51
Figura 18 – Estruturas metálicas e cobertura com telhas de zinco e policarbonato	52
Figura 19 – Organização do espaço interno	52
Figura 20 – Coleta de medição instantânea	53
Figura 21 – Vista parcial do motor e geral do corpo metálico da faceadora	53
Figura 22 – Brunidoras	54
Figura 23 – Bico de ar	54
Figura 24 – Mapeamento do NPS da linha de produção	56
Figura 25 – Carrinho de transporte	58
Figura 26 – Esquema dos painéis absorventes e ressonadores	60

Figura 27 – Variação dos NPS para o operador no posto de trabalho E1 durante 4 horas	64
Figura 28 – Variação dos NPS para o operador no posto de trabalho E2 durante 4 horas	64
Figura 29 – Variação dos NPS para o operador no posto de trabalho E3 durante 4 horas	65
Figura 30 – Repetição da ação de comunicação na linha de processo produtivo de autopeças	67
Figura 31 – Repetição da ação de comunicação na linha de processo produtivo de cilindros hidráulicos	67
Figura 32 – Mapeamento da comunicação	68
Figura 33 – Comparação do mapeamento acústico com o mapeamento de comunicação	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros de tempo de exposição aos NPS	40
Tabela 2 – Tempo de exposição segundo os NPS	42
Tabela 3 – Critério de julgamento para a tomada de decisão, segundo a dose diária	44
Tabela 4 – Comparação entre o Cálculo do TR encontrado e o TOR recomendado	55
Tabela 5 – Coeficiente da absorção média nas frequências	60
Tabela 6 – Coeficiente da absorção média nas frequências	61
Tabela 7 – Parâmetro de tempo de exposição aos NPS	63

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADCQA	Avaliação de Desempenho e Controle da Qualidade Ambiental
AMA	American Medical Association
ANSI	American National Standards Institute
APO	Avaliação de Pós-Ocupação
CIPA	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EPI	Equipamentos de Proteção Individual
FM	Facility Management
ICF	International Classification of Functioning
ISO	Internacional Standard Organization
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NHO	Normas de Higiene Ocupacional
NHT	Normas de Higiene do Trabalho
NIS	Nível de Intensidade Sonora
NPS	Nível de Pressão Sonora
NR	Norma Regulamentadora
OCDE	Organização de Cooperação de Desenvolvimento Econômico
OMS	Organização Mundial da Saúde
PAIR	Perda Auditiva Induzida por Ruído
PCA	Programa de Conservação Auditiva
PCMSO	Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
TOR	Tempo Ótimo de Reverberação
TR	Tempo de Reverberação
TRR	Tempo Real de Reverberação

RESUMO

A questão acústica no meio industrial é tema relevante devido o registro de 20% da população mundial estar expostas cotidianamente ao ruído. O presente estudo é fruto de um recorte feito em uma pesquisa anterior, com a participação da autora deste, que abordou a caracterização acústica de um edifício industrial metalúrgico, onde foi elaborado um diagnóstico e foram feitas propostas de intervenção para o maquinário e para o ambiente. Com o objetivo de contribuir com a qualidade do ambiente industrial a partir de soluções técnicas, que favoreçam o desenvolvimento do conforto acústico. Assim foi resgatando os métodos e os dados encontrados na pesquisa anterior, aplicando novos métodos de investigação como a avaliação de pós ocupação e o gerenciamento do espaço físico e utilizando a dosimetria como um procedimento de complementação de medição técnica, para então baseando-se nos dados de atenuação de cada elemento absorvente, fornecidos pelos fabricantes e outros encontrados na literatura, desenvolver uma estimativa de atenuação. Apresentando intervenções para o maquinário e a atenuação média encontrada para o uso de um bocal amplificar de ar foi de 13% para as frequências, e o uso associado de ressonadores e painéis absorventes com a intenção de controlar a reverberação o ambiente. No que se refere à atenuação para o maquinário as solução atendem a expectativa de atenuação de emissão de NPS, para a questão do uso associado de ressonadores e painéis absorventes no ambiente o resultado também foi positivo, demonstrando que as propostas são eficientes para atenuar o ruído ocupacional.

ABSTRACT

The question acoustics in the middle industrial theme is relevant because the record of 20% of the world's population being exposed daily to noise This study is the result of a cut made in a previous search, with the participation of the author of this, which addressed the acoustical characteristics of a metal industrial building where he was drafted a diagnosis and proposals were made for assistance for the machinery and the environment. In order to contribute to the quality of the environment from industrial technical solutions, which promote the development of acoustic comfort. Thus was rescuing the methods and data found in previous research, applying new methods of research as a post-occupancy evaluation and management of the physical space and using the dosimetry as a procedure for complementation of measurement technique, and then based on the data mitigation of each element absorbent, supplied by the manufacturers and others in the literature, develop an estimate of mitigation. Introducing interventions for the machinery and alleviating average found for the use of a mouthpiece amplify the air was 13% for the frequencies, and associated use of resonators and absorbent panels with the intent to control the reverberation the environment. With regard to mitigation for the machinery the solution meet the expectation of mitigation for the issue of NPS, for the issue involved the use of resonators and absorbent panels on the environment the result was also positive, showing that the proposals are effective to reduce the noise occupational.

1. APRESENTAÇÃO

Este estudo é resultado da continuidade das minhas atividades acadêmicas, que têm sido desenvolvidas entre a academia, empresa e trabalhadores, pela minha participação num Projeto de Extensão, como bolsista do Fundo de Auxílio à Extensão – FAE, sobre a relação do ruído no ambiente industrial, com uma visão interdisciplinar entre Fonoaudiologia, Engenharia de Produção e a Arquitetura.

Dentro deste Projeto de Extensão, com os resultados das ações metodológicas, foi possível criar um diagnóstico multidisciplinar das reais condições do ambiente industrial sobre três frentes de trabalho: os conceitos da Fonoaudiologia, os quais se concentraram em pesquisar os efeitos na saúde do trabalhador; a Engenharia de Produção, que pesquisou as fontes emissoras de ruído (o maquinário); e a Arquitetura, que fez o estudo voltado para a acústica do ambiente.

Partindo desta pesquisa, realizei o meu Trabalho Final de Graduação, no Curso de Arquitetura, com o intuito de discutir qual a adequação do espaço físico, quanto à sua forma e às características construtivas em favorecer menores índices de reverberação no ambiente industrial, propondo uma concepção diferenciada dos aspectos físicos dos edifícios fabris, diferentes materiais construtivos e introdução dos conceitos do conforto ambiental (térmica, iluminação, ventilação e acústica).

No prosseguimento das minhas atividades acadêmicas, com o término de minha graduação, o mestrado deu-me a oportunidade de dar continuidade à pesquisa realizada no Projeto FAE, resgatando o diagnóstico multidisciplinar, sistematizando as informações e focando o tema de discussão da pesquisa na verificação da eficácia das intervenções propostas, com o compromisso de constatar se a associação das atenuações de cada proposta pode representar ganho significativo na redução do Tempo de Reverberação, o que acarretaria diminuição e controle do ruído.

Com a participação inicial do Projeto FAE dentro de uma equipe interdisciplinar, atuando numa empresa real, pude assimilar melhor como os conceitos teóricos podem ser ajustados à realidade, quais são as limitações existentes entre o meio acadêmico e o meio industrial, e como podem ser eficazes as propostas para a obtenção do objetivo proposto.

A pesquisa de mestrado surge então como uma oportunidade de validar os estudos anteriores, avaliando a pertinência e a eficácia das propostas surgidas durante o projeto de extensão em uma unidade de produção metalúrgica.

2. INTRODUÇÃO

O ambiente industrial propicia diversos problemas relacionados à acústica e à sua construção. Observando os aspectos de conforto, vê-se que os projetos arquitetônicos atribuem maior relevância aos aspectos térmicos, ergonômicos e de iluminação, em detrimento dos aspectos voltados ao tratamento acústico. Isso pode ser atribuído ao fato de que a avaliação do nível de som pelo ouvido humano é diferente da avaliação da distância pelos olhos ou do peso pelo braço. Dessa forma, as interferências acústicas negativas do ambiente nem sempre são facilmente percebidas pelo usuário.

Dentro do panorama da indústria, a questão do conforto acústico geralmente não recebe a preocupação relevante que merece. Para controlar a exposição aos elevados NPS, tradicionalmente usam-se os Equipamentos de Prevenção Individual – EPI (protetores auriculares), que funcionam como paliativos, fazendo com que haja poucas intervenções nas fontes de emissão de ruído (maquinário), e mínima ou nenhuma preocupação com o ambiente construído, o que justifica a relevância do estudo da propagação de som em ambientes internos, visto que o maquinário, maior fonte de ruído, é também peça fundamental da produtividade fabril.

As preocupações voltadas às soluções de problemas relacionados ao conforto de edifícios industriais têm sido cada vez mais crescentes no Brasil. Por isso, a busca de aperfeiçoamento e adequação dessa questão acústica surge com força dentro do setor industrial. Esse interesse intensificou a realização de estudos para garantir a melhoria da qualidade ambiental e de vida do trabalhador, favorecida na medida em que se requalificam as ações coletivas orientadas para a prevenção.

Didoné (1999) afirma que, ao realizar uma intervenção no ambiente industrial, a fim de evitar danos físicos sensoriais ou mentais e observando as condições do conforto ambiental, deve-se dar maior ênfase à questão do ruído, pois este é citado como um dos principais condicionantes que afetam o rendimento no trabalho.

Em um estudo realizado no Brasil por Fiorini e Fischer (2000), utilizando o registro de audiometrias, foi efetuada uma comparação entre dois grupos de indivíduos com limiares auditivos normais, sendo um grupo de expostos e outro de não expostos ao ruído ocupacional. O primeiro grupo continha 80 pessoas não expostas e do segundo grupo faziam parte 80 trabalhadores industriais expostos a níveis de 85dB a 105dB. A conclusão a que chegaram foi a de que, mesmo quando os limiares audiométricos se encontram dentro dos padrões de normalidade, há alterações auditivas na população não exposta ao ruído ocupacional, observando um percentual neste primeiro grupo de 55,7%. Para o segundo grupo, exposto ao ruído ocupacional, a alteração apresentou-se com um percentual maior,

68,7%, pois as pessoas participantes, além da exposição ao ruído do cotidiano vivencial, foram associadas à exposição laboral, que agrava a fadiga do aparelho auditivo.

Dentro de um recinto fechado, os problemas do ruído podem ser: inteligibilidade dentro de uma sala de aula, dificuldade de concentração em uma biblioteca, perturbação do sono num dormitório e até mesmo a perda auditiva numa indústria.

Para melhor caracterizar e criar propostas eficazes para o problema de ruído no ambiente industrial, pretende-se criar uma relação de integração entre duas ferramentas de avaliação do espaço físico: o processo formal e sistemático de Avaliação de Pós-Ocupação – APO e o processo de gerenciamento do espaço físico, buscando o cenário real das condicionantes ambientais através de um sistema de gerenciamento que permite o detalhamento das investigações.

A elaboração do tema deste trabalho partiu da necessidade de continuidade dentro de uma pesquisa anterior num projeto de extensão, em que o cerne do trabalho era qualificar um ambiente industrial tendo a iniciativa de unir os conhecimentos das áreas de Engenharia de Produção, Fonoaudiologia e Arquitetura, cada uma dentro de sua especialidade, para diagnosticar as reais condições da linha de produção da indústria metalúrgica RKM – Equipamentos Hidráulicos, localizada em Piracicaba, no interior do estado de São Paulo, dentro da zona industrial Unileste.

O diagnóstico final teve a contribuição da Engenharia de Produção na questão de determinação das fontes prioritárias de emissão de ruído; a Fonoaudiologia apresentou e classificou as condições da audição dos trabalhadores através das audiometrias; e a Arquitetura evidenciou a real condição acústica do ambiente, apresentando as deficiências ambientais, os pontos críticos e o tempo real de reverberação do som (GONÇALVES, 2005).

Este trabalho deu prosseguimento aos estudos anteriores correspondentes ao Projeto de Extensão, fazendo do estudo de caso uma ferramenta norteadora para a comprovação da eficácia da aplicabilidade das intervenções propostas como medidas de controle do ruído no maquinário e no ambiente, evidenciando tal eficácia através da comparação de resultados esperados com a implantação das intervenções no ambiente de trabalho com o resultado de atenuação do ruído ocupacional pretendido, encontrado na legislação que define o Tempo Ótimo de Reverberação para o ambiente industrial de uma metalúrgica.

A discussão de controle do problema do ruído ocupacional abordou também fatores que podem ter responsabilidade do agravamento da condição real, como a utilização de materiais construtivos inaptos à absorção sonora e a falta de diretrizes de conforto acústico que dificulta o controle dos NPS no ambiente.

Ainda pode-se reafirmar que a aplicabilidade de conceitos interdisciplinares na busca de encontrar soluções para um mesmo problema foi encarada de maneira positiva, pois cria uma abrangência nos fatos que acometem o tema, sem que o foco se disperse ou que se criem intervenções que influenciem outros aspectos.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (2004), há cerca de 140 bilhões de pessoas expostas a níveis perigosos de ruído ocupacional no mundo, estimando-se que 16% dessa população está exposta continuamente a 90dB por 8 horas diárias, e apresentará lesão auditiva após 10 anos de trabalho sucessivo.

O setor industrial tem função indispensável no desenvolvimento econômico nacional. Segundo a Organização de Cooperação de Desenvolvimento Econômico – OCDE, estima-se que 1,056 bilhões de pessoas, ou seja, cerca de 20% da população mundial, estão expostas cotidianamente ao ambiente fabril (NUDELMAN et al, 1997).

O ambiente industrial, segundo as características físicas, tem responsabilidades na qualidade de vida do trabalhador. Para o reconhecimento do ambiente construído, a aplicabilidade do conceito de Avaliação de Pós-Ocupação – APO se fez oportuna, pois com essa aplicabilidade pôde-se criar um diagnóstico de aspectos positivos e negativos do espaço construído, além de dados levantados a partir da percepção dos ocupantes do ambiente. Tal diagnóstico, associado ao conceito de gerenciamento do espaço físico (*Facility Management* – FM), que busca informações sobre a funcionalidade do processo produtivo dentro do edifício industrial, possibilitou detalhar as condições ambientais do prédio e até mesmo questões culturais do ambiente laboral.

Com o diagnóstico finalizado, pôde-se propor medidas de controle do ruído para o ambiente, com as opções do uso de placas absorventes para diminuir a reverberação nas três frentes de frequência de 125Hz, 500Hz e 2.000Hz, o que, segundo a estimativa, atende a necessidade de controle do ruído ambiental. Já para o maquinário, a indicação de ações preventivas está voltado à segregação dos motores das máquinas, instalação de mecanismo de amortecimento associados à blindagem rígida, isolando o ruído que anteriormente era transmitido em sua totalidade para o ambiente.

Os resultados positivos de atenuação do ruído, segundo a utilização das medidas de controle, foram constatados com a aplicação das estimativas que apresentaram os índices de redução dos NPS emitidos pelo maquinário para o ambiente, garantindo melhor qualidade de vida para os trabalhadores durante a jornada de trabalho industrial.

2.1. Objetivos

2.1.1. Geral

Análise e complementação de Avaliação de Pós-Ocupação aos aspectos construtivos do ambiente industrial metalúrgico.

2.1.2. Específicos

- Análise e aprimoramento do coeficiente médio de absorção do ambiente industrial;
- Confrontação entre o mapeamento acústico, dosimetria e o mapa de comunicação;
- Avaliação da eficácia das propostas de intervenção, segundo os critérios de atenuação do ruído e a sua aplicabilidade a edifícios semelhantes.

2.2. Apresentação dos capítulos

Capítulo 1 – Introdução:

Contextualização do problema do ruído ocupacional, demonstrando como a população exposta a esse risco é afetada durante a jornada de trabalho cotidiana.

Apresentação, além da justificativa de relevância do tema, da linha de pesquisa abordada até a definição do objeto de estudo deste trabalho.

Demonstração dos principais conceitos teóricos que nortearam a execução dos métodos adotados para o desenvolvimento das atividades, a fim de atingir o objetivo proposto.

Capítulo 2 – Revisão bibliográfica:

O ruído foi conceituado segundo suas características físicas – como intensidade, amplitude, frequência, comprimento de onda – e também suas classificações – como ruído contínuo, intermitente ou de impacto, formas de propagação do som no ambiente e medidas de controle do ruído.

Abordou-se o estudo do conforto acústico para recintos fechados, visando a garantir principalmente a saúde auditiva dos ocupantes do edifício, e demonstraram-se os conceitos teóricos que possibilitam realizar a investigação acústica no ambiente, como a aplicação de APO e o gerenciamento do espaço físico, além de trazer a determinação legal que especifica o tempo de exposição diária, os índices de Níveis de Pressão Sonora – NPS.

Esse levantamento bibliográfico teve a finalidade de fundamentar as ações dos métodos adotados no desenvolvimento desta pesquisa.

Capítulo 3 – Materiais e métodos:

Apresentação do desenvolvimento do estudo de caso para obter um panorama da situação contemporânea de ambientes indústrias semelhantes, ocupando-se também da relação das atividades de trabalho com o ambiente, assim como levantando dados e analisando documentos para investigar a relação entre trabalhador, ambiente de trabalho e a real condição ambiental de trabalho.

- Resgate dos materiais de caracterização do edifício industrial, segundo o Projeto de Extensão;
- Execução de etapas complementares para detalhar o diagnóstico;

A execução destas etapas foi aplicada no estudo do ruído tanto para o ambiente quanto para o maquinário da linha de produção da indústria metalúrgica.

Capítulo 4 – Resultados:

Apresentação dos resultados das etapas complementares do detalhamento do diagnóstico.

- Apresentação dos resultados da dosimetria realizada em alguns trabalhadores nos postos de trabalho.
- Apresentação dos resultados da etapa do estudo da comunicação segundo a aplicação da APO e gerenciamento das estações de trabalho.

Capítulo 5 – Discussão e conclusão:

Discussão do tema de ruído ocupacional dentro de um edifício industrial metalúrgico, a partir da apresentação das estimativas de atenuação desenvolvidas para as propostas de intervenção nas frentes de trabalho relativas ao estudo dos maquinários e do ambiente.

Abordagem dos fatores que interferem no comportamento do edifício industrial, como o uso de materiais construtivos inaptos para a absorção acústica e o descaso com as diretrizes do conforto acústico.

A conclusão reforça os resultados encontrados com a aplicação da estimativa da eficácia das propostas, ressaltando ainda a importância da dinâmica interdisciplinar para a busca de soluções na questão do ruído ocupacional.

Capítulo 6 – Referências bibliográficas:

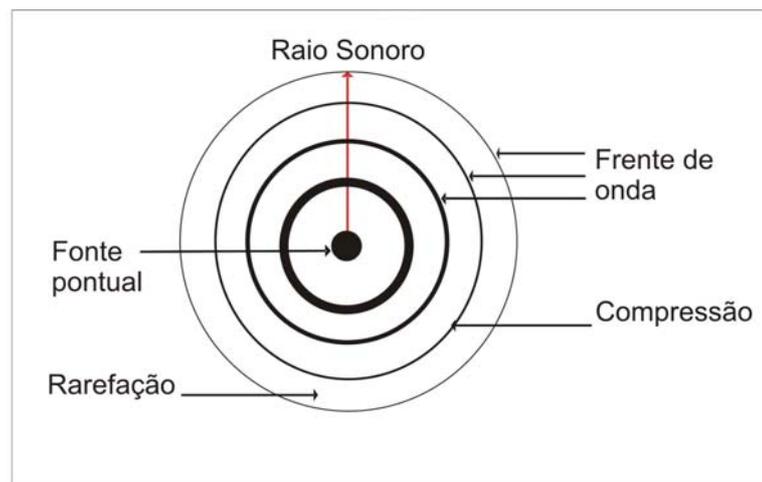
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Definição, caracterização física e comportamental do som

Num primeiro momento é importante a compreensão do conceito do som, assim como quais são suas caracterizações físicas e quais são os comportamentos de incidência em diferentes materiais construtivos em recintos fechados, pois o ruído é uma variação de pressão que o ouvido humano pode captar.

Nepomuceno (1977) define som como uma vibração mecânica que se propaga no ar e dá origem à sensação de ouvir, que é estimulada pelos aumentos e reduções periódicas da densidade do ar.

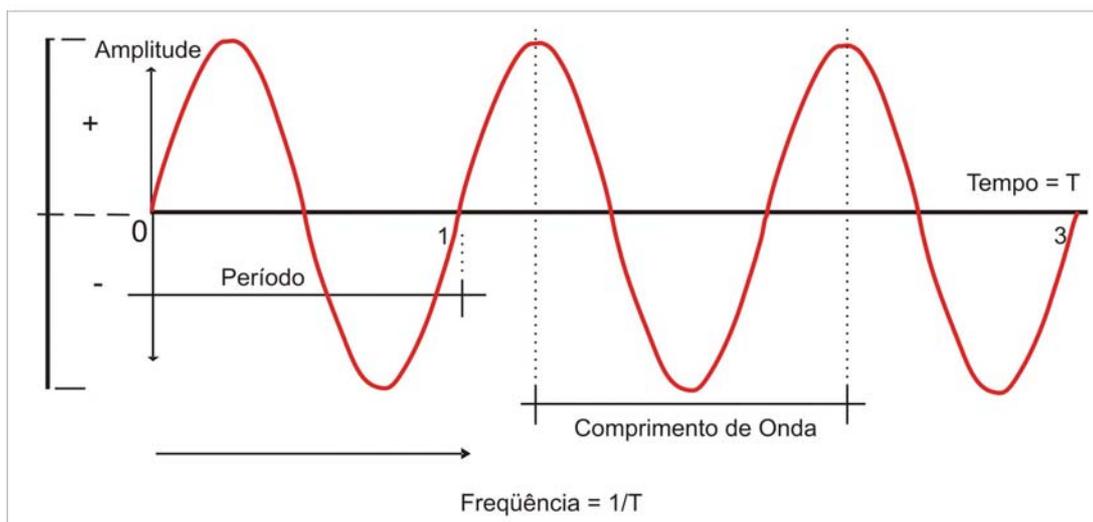
A propagação do som é feita através de ondas esféricas, a partir de uma fonte pontual, com uma sucessão de repetições de compressão de onda que, com o distanciamento do ponto inicial, perfaz uma rarefação dentro do raio sonoro, conforme Figura 1:



Fonte: GERGES (1992)

Figura 1 – Visão bidimensional da propagação do som a partir da fonte pontual

A propagação pode se dar de duas formas: com a presença de obstáculo na trajetória de propagação e em campo aberto. Segundo Gerges (1992) e Nepomuceno (1977), as ondas sonoras se propagam no ar através de um movimento ordenado de moléculas que as constituem, e em outros meios materiais, já que são transmitidas através de vibrações moleculares. Por isso não há propagação no vácuo. Para melhor compreender a propagação do som, adota-se um princípio de seccionar a onda, congelando-a e obtendo uma senóide de onda, demonstrando melhor as suas propriedades, conforme a Figura 2:



Fonte: Adaptação de NEPOMUCENO (1977)

Figura 2 – Visualização de uma Senóide de Onda ou Onda Senoidal

A partir da senóide de onda, pode-se descrever as características físicas da propagação de onda sonora baseando-se em inúmeros estudos já realizados, desde o matemático francês Joseph Sauveur, em 1713, quando apresentou sua pesquisa sobre acústica e tornou-se conceito usual para estudos atuais:

Amplitude é a pressão acústica em relação ao valor equivalente ao repouso. Quanto maior for a amplitude da onda de pressão, maior será a oscilação das partículas do ar e maior é a distância que o som pode percorrer.

Período é o intervalo de tempo, em segundos, entre dois acontecimentos repetidos, dentro da distância percorrida pela onda senoidal.

Freqüência é o número de vezes que o período ou comprimento de onda é repetido no intervalo de um segundo. A unidade de medida é o *Hertz* (Hz). Os tons graves ou baixos denominam-se freqüências baixas e os tons agudos ou altos denominam-se freqüências altas.

Segundo a variação de freqüências, existe a seguinte classificação (EGAN, 1988):

- Tons puros - compostos por uma única freqüência;
- Sons musicais - compostos por uma freqüência fundamental e várias freqüências de valor múltiplo inteiro da fundamental (sons harmônicos = sons limpos), dependendo do timbre;

- Ruído - composto por inúmeras frequências sem que exista um padrão que as relacione diretamente. O resultado é um sinal complexo, sem uma frequência fundamental fixa, portanto um sinal não periódico.

O critério de distinção entre ruído e som é o agente perturbador, o conjunto de sons indesejáveis, desagradáveis, que envolve o fator psicológico de tolerância de cada indivíduo.

Embora o ruído esteja associado ao do som, não cabe afirmar que os dois termos sejam sinônimos, já que o ruído é apenas um tipo de som, com periodicidade sem definição, ou seja, o conceito de ruído é associado a som desagradável e indesejável.

Ruído é uma palavra derivada do latim *rugitu*, que significa estrondo. Acusticamente, é constituído por várias ondas sonoras com relação de amplitude e fase distribuídas anarquicamente, provocando uma sensação desagradável, diferente da música (ALMEIDA et al, 2000).

Para a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1987), o conceito de ruído é a mistura de tons cujas frequências diferem entre si, devido ao valor inferior à discriminação (em frequência) do ouvido.

Nudelmann et al (1997) utilizam o termo 'ruído' para descrever um sinal acústico aperiódico originado da superposição de vários movimentos de vibração com diferentes frequências, as quais não apresentam relação entre si.

O ruído é caracterizado como uma espécie de som capaz de causar danos ao aparelho auditivo humano, por variações de pressão que ultrapassam o limite da audição em diferentes frequências. Trata-se de um inimigo 'silencioso', pois suas conseqüências são sentidas depois de certo tempo de exposição, durante o desenvolvimento da maior parte das atividades humanas, seja de lazer ou ocupacional.

Há ainda a classificação segundo a variação de ruído de acordo com a norma ISO2204/1979, também na norma NBR 10152.

- Contínuo - ruído com variações de níveis desprezíveis (até $\pm 3\text{dB}$) durante o período de observação;
- Intermitente - ruído cujo nível varia continuamente de um valor apreciável (superior $\pm 3\text{dB}$) durante o período de observação;
- Ruído de impacto ou impulso - aquele que se apresenta em picos de energia acústica de duração inferior a um segundo. A forma de onda deste tipo de ruído é freqüentemente descrita por amplitude e duração, sendo que a amplitude é medida

no pico máximo e a duração é o tempo que a onda leva para cair 20dB do seu nível normal;

Comprimento de Onda é o comprimento que as partículas do ar, num dado instante, ocupam no espaço no período de uma onda, e é medido em metros. Esta grandeza está diretamente relacionada à frequência da onda e à velocidade de propagação do som no meio, sabendo-se que a velocidade é em média 343m/s (metros por segundo);

Intensidade é a qualidade do som que permite ao ouvinte distinguir um som fraco de um som forte. Está relacionada diretamente à amplitude de onda, ou seja, quanto maior a amplitude, maior a intensidade do som.

A intensidade de um som pode ser medida por dois parâmetros:

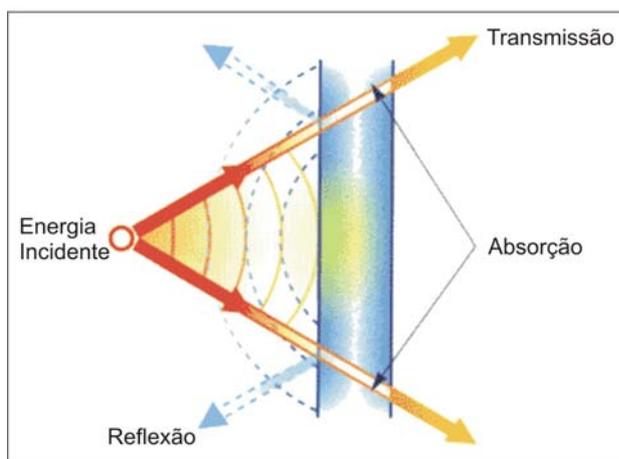
- A **energia** contida no movimento vibratório (W/cm^2);
 - Menor intensidade sonora audível = $10^{-16}W/cm^2$
- A **pressão** do ar causada pela onda sonora ($BAR = 1dina/cm^2$)
 - Menor intensidade sonora audível = $2 \times 10^{-4}BAR$

Beranek (1969) explica que através da medida da energia se desenvolve um procedimento de transformação de unidade para se chegar à medida de intensidade sonora que é denominada Nível de Intensidade Sonora – NIS, medida em decibéis (dB), onde se tem intensidades sonoras de $10^{-16} W/cm^2$ (limiar de audibilidade) a $10^{-2} W/cm^2$ (limiar da dor).

A Lei de Weber–Fechner mostra a relação entre a intensidade física de uma excitação e a intensidade subjetiva da sensação de uma pessoa. À medida que se aumenta a intensidade sonora, danifica-se cada vez mais a capacidade auditiva, tornando o ouvido menos sensível, o que acarreta a necessidade de um aumento exponencial da intensidade do som para que o ouvido o ‘sinta’ de maneira linear.

Ao atingirem um obstáculo, as ondas esféricas que partiram da fonte pontual podem se comportar de maneiras diferentes, dependendo da característica do material onde a onda vai incidir.

Egan (1988) assevera que as principais reações e comportamento da onda são: a transmissão, a absorção, a reflexão e a difração. Estas reações dependem das características do material que compõem o obstáculo de incidência da onda esférica, conforme a Figura 3.



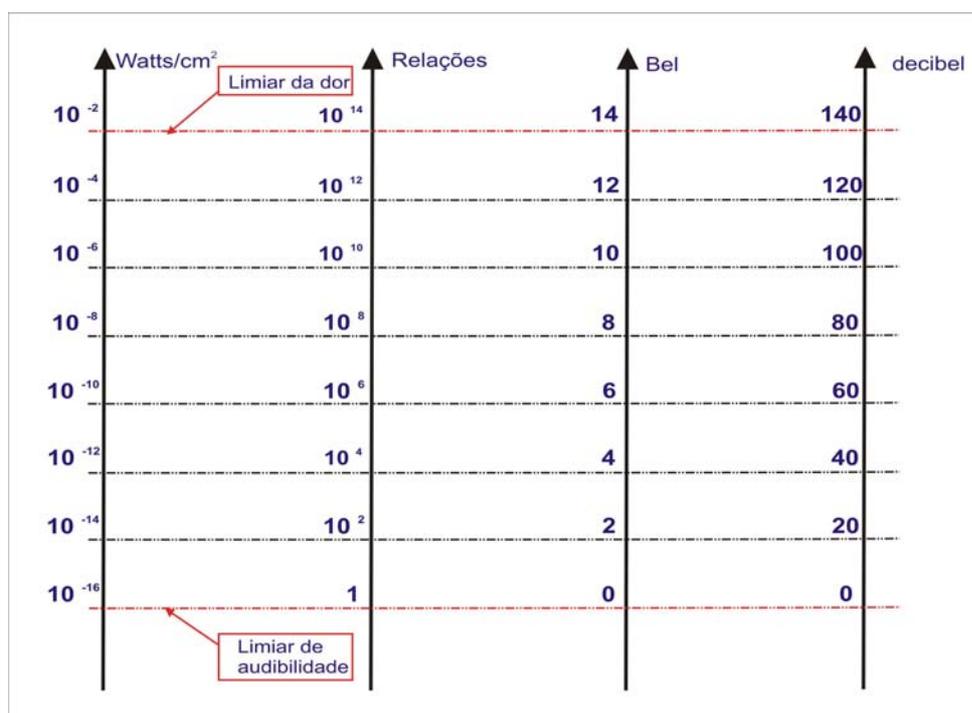
Fonte: GONÇALVES (2003)

Figura 3 – Esquema do comportamento da incidência de onda

- Reflexão - ao se propagar no ar, uma onda sonora encontra uma superfície sólida como obstáculo à sua propagação; esta é refletida e é diretamente proporcional à dureza do material. Paredes lisas e de materiais pouco porosos refletem quase 100% do som incidente;
- Absorção - é a propriedade de alguns materiais em não permitir que o som seja refletido por uma superfície; então uma quantidade de som é dissipada e a outra é transmitida. A absorção da energia sonora por materiais absorventes depende da frequência do som: normalmente é grande para altas frequências, reduzindo-se a valores muito pequenos no caso de baixas frequências;
- Transmissão - é a propriedade sonora que permite que o som passe de um lado para outro de uma superfície, continuando sua propagação através da vibração que provoca, transformando-a em uma fonte sonora em sua outra face. Portanto, quanto mais rígida e densa for a superfície, menor será a energia transmitida;
- Difração - é a propriedade do movimento ondulatório de contornar obstáculos, ou seja, o som é capaz de rodear obstáculos ou propagar-se por todo um ambiente através de uma abertura. Os sons graves têm maior facilidade em propagar-se no ar assim como maior capacidade de contornar obstáculos.

Além da variação de incidência segundo as características dos materiais, que define o comportamento da onda sonora no ambiente, é preciso entender a variação de escala de energia que é gerada no ambiente, e de que maneira ela é transformada para que se tenha uma escala mensurável.

Kurtze (1963) ensina que, para contornar o problema de a variação de escala da energia ser muito ampla, lança-se mão da escala logarítmica, ou seja, usa-se apenas o expoente da relação. Portanto, foi necessário desenvolver uma escala de conversão reduzindo a escala em excesso, pois, entre o limiar de audibilidade e o ruído da rua, existem mais de 8 unidades de sons audíveis. Foi criado, então, o décimo do BEL, ou seja, o decibel. Portanto, o número de decibéis (dB) nada mais é do que aquele expoente da relação das intensidades físicas multiplicado por 10. A Figura 4 apresenta a relação de conversão de unidade:



Fonte: Adaptação de FERNANDES (1994)

Figura 4 – Esquema da formação da escala em decibéis

NEPONUCENO (1977) esclarece que o decibel comprime uma gama da escala linear de intensidade, transformando-a em escala logarítmica, sendo que o número de decibéis é igual a 10 vezes o logaritmo da razão entre duas intensidades de energia, ou 20 vezes o logaritmo da razão de duas unidades de pressão sonora. Dessa forma, expressam-se grandes variações de pressão e energia em uma escala que permite melhor visualização do fenômeno do som.

Gerges (1992) assevera também que a escala de BELs é um valor de divisão de escala muito grande; então, usa-se o decibel (dB), que nada mais é do que um décimo do BEL, para representar o NIS, que é proporcional ao NPS dado por:

$$NPS = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \quad (1)$$

Onde:

$$P = 0,1 \text{ N/m}^2 = 0,1 \text{ dB}$$

$$P_0 = 0,0002 \text{ N/m}^2 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ dB}$$

Sabe-se que 1dB é a menor variação que o ouvido humano pode perceber. Segundo a literatura, a relação dos valores em Pressão Sonora (N/m^2) e Nível de Pressão Sonora (dB) expressa que toda vez que a pressão dobrar, acrescenta-se então 3dB no resultado final para representar o real NPS, que corresponde à exposição.

Bistafa (2006) refere que a fonte pontual de som é gerada por ondas esféricas, onde a distância, ao ser dobrada, indica que a pressão sonora cai pela metade de seu valor de NPS, tendo uma queda de 6dB no NPS para cada duplicação da distância da fonte sonora.

No entanto, para se realizar a soma de mais de uma grandeza dentro da escala de dB, os NPS não podem ser somados diretamente, mas sim de maneira logarítmica, como a seguir:

$$L_{p_T} = 10 \log \left(\sum 10^{\frac{L_p}{10}} \right) \quad (2)$$

Onde:

$$L_{p_T} = \text{Total de NPS}$$

$$L_p = \text{NPS encontrado}$$

Segundo Gerges (1992), o resultado obtido a partir dessa soma de NPS representa a média dos NPS emitidos pelas máquinas do local, e é calculada por causa da proximidade de pontos de emissão ou por causa da variação da diretividade do ruído promovido.

3.1.1. Ruído industrial e formas de controle

A questão do ruído no ramo industrial está relacionada diretamente à utilização de máquinas que são as ferramentas da produção,

Nepomuceno (1977) descreve a origem do ruído industrial como as vibrações dos equipamentos em operação, que excitam diversas partes do próprio equipamento ou de partes a eles ligadas.

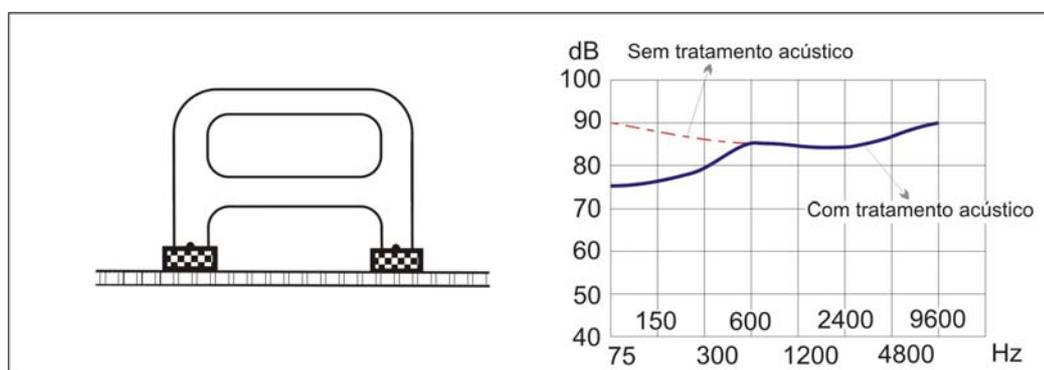
Gerges (1992) explica que o entendimento físico das fontes geradoras de ruído e a dinâmica de cada máquina, junto com as principais técnicas de controle, são a melhor ferramenta para especificação, projeto e solução do problema de ruído das máquinas. O autor refere o motor elétrico como um complexo gerador de ruído, devido às vibrações de seus componentes e ao fluxo turbulento do ar de refrigeração. O ruído em motores elétricos pode ser classificado em três categorias principais: magnético, mecânico e aerodinâmico.

- **Magnético**: originado principalmente pelas forças magnéticas que atuam no estator e no rotor, através do espaço de ar, dependendo do projeto do motor, sendo uma função da densidade do fluxo magnético, do número e forma dos pólos, do número e formas das ranhuras e da geometria do espaço de ar;
- **Mecânico**: voltado para a estrutura física do maquinário. Identifica como principais fontes de ruído o desbalanceamento do rotor, mancais e rolamento, fricção das escovas nos anéis de escorregamento, fricção acidental de componentes dos estatores e rotores, ruído devido a componentes soltos, o que implica a necessidade de uma rigorosa e contínua manutenção;
- **Aerodinâmico**: criado por vórtices e fluxos turbulentos de ar de refrigeração que são produzidas pelas pás do rotor em movimento relativo aos elementos estacionários.

Para o cálculo da emissão de poluição sonora emitida pela fonte ruidosa, não há uma separação segundo a classificação do tipo do ruído emitido segundo a descrição acima, mas sim uma leitura instantânea com o decibelímetro para registrar a emissão geral produzida pela fonte.

Santos et al (1994) ensinam que para minimizar os efeitos da emissão de ruído pelas fontes podem ser feitas intervenções, como a separação do motor elétrico do corpo da máquina, isolando-o de toda a estrutura metálica, como também a instalação de amortecedores e, ainda quando viável, o isolamento por barreiras ou blindagem dos motores emissores de ruído. Ainda segundo os autores, o que determina a escolha de qual intervenção a ser tomada é a que frequência o ruído dever ser atenuado, conforme exemplos a seguir:

- Montagem de máquina sobre um amortecedor de vibração – há uma redução dos níveis de ruído na frequência próxima a 200Hz, como mostra a Figura 5:

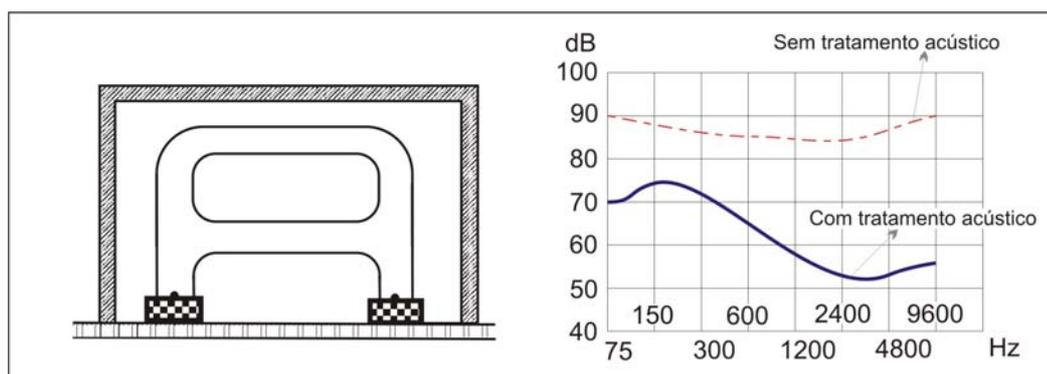


Fonte: Adaptação de SANTOS et al (1994)

Figura 5 – Instalação de amortecedor contra vibração

A aplicabilidade da blindagem rígida e a montagem da máquina sobre o amortecedor de vibração são indicadas para uso específico de compressores, já que nesses equipamentos o enclausuramento total não enfrenta o problema de sobrecarga devido à falta de ventilação.

- Blindagem rígida e montagem da máquina sobre o amortecedor de vibração – nas frequências baixas ocorre uma acentuada atenuação, e nas frequências elevadas a atenuação também ocorre, conforme a Figura 6:

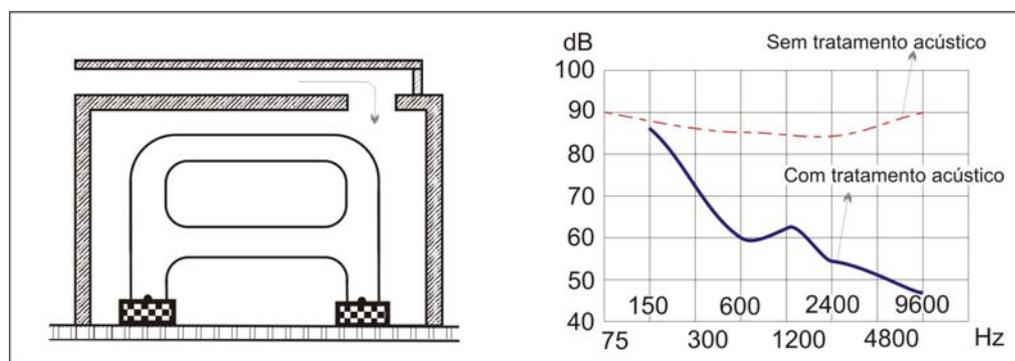


Fonte: Adaptação de SANTOS et al (1994)

Figura 6 – Instalação de blindagem rígida e amortecedor na máquina

Para os motores das máquinas que trabalham com sistema de ventoinha, para a eliminação do calor gerado no funcionamento destinam-se aplicabilidades do seguinte sistema de isolamento:

- Blindagem rígida com janela, com atenuação de ruído e montagem antivibratória – as frequências sofrem atenuação bem acentuada; a importância da janela verifica-se na permissão de ventilação para o motor da máquina, a fim de evitar sobrecarga por calor, conforme Figura 7:

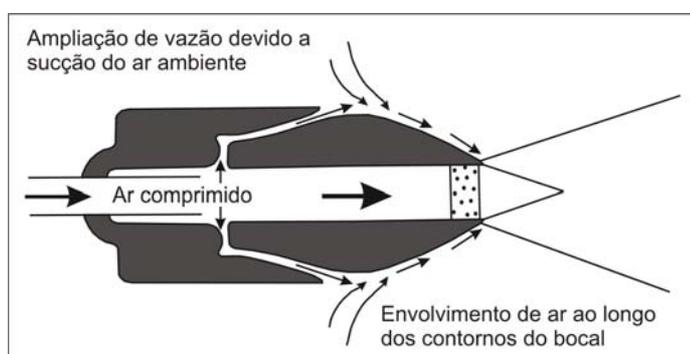


Fonte: Adaptação de SANTOS et al (1994)

Figura 7 – Instalação de blindagem rígida

Em algumas máquinas e em determinados tipos de processos produtivos, há ainda a utilização de outros equipamentos para auxiliar a execução da produção, como, por exemplo, bicos de ar comprimido, que na indústria metalúrgica agem como ferramentas para limpar os cavacos metálicos das peças e das superfícies.

Para Gerges (1992), na ferramenta de ar comprimido inserida em alguns processos produtivos, o ruído de jato é o segundo responsável pela poluição sonora nos meios industriais, como a eliminação deste dispositivo nem sempre é possível, aconselha-se o uso de alguns dispositivos que possam minimizar a emissão de ruído, como bocais difusores, conforme Figura 8.

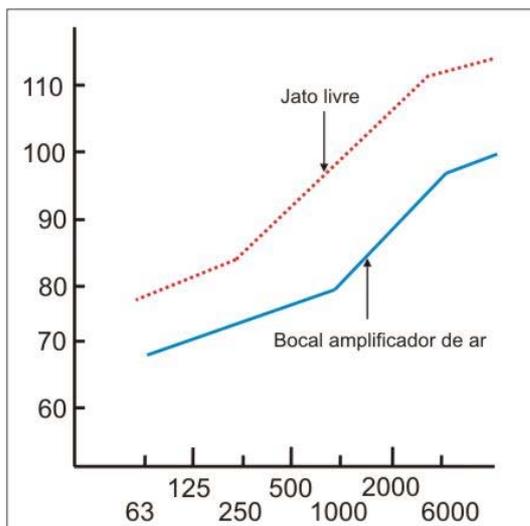


Fonte: Adaptação de GERGES (1992)

Figura 8 – Bocal amplificador de ar

Para o bocal amplificador de ar, Gerges (1992) refere a criação de um jato secundário proveniente de orifício deslocados da trajetória do escoamento principal. A quantidade de fluxo sob a pressão estática do bocal na trajetória central permite que parte dele se desloque formando um jato secundário, que forma então uma película fina de ar que se movimenta em alta velocidade e que tem uma pressão estática negativa à pressão atmosférica. Cria-se um vácuo parcial pela película e permite a aderência aos contornos da parte do bocal, induzindo o ambiente a funcionar como amplificador de vazão. O ar succionado é então misturado ao fluxo principal de uma forma suave e não turbulenta, criando um fluxo quase laminar, reduzindo o ruído gerado pelo jato.

Assim como para o registro da emissão de NPS das máquinas sem nenhum tipo de proteção ou tratamento acústico, o decibelímetro é o instrumento que pode fazer a releitura e verificar que as intervenções podem minimizar os NPS dentro de um ambiente, conforme a Figura 9:



Fonte: Adaptação de GERGES (1992)

Figura 9 – Gráfico de atenuação do ruído com o uso do bocal amplificador de ar

Para o estudo em questão, o segundo aspecto enquadra-se na realidade da indústria metalúrgica, aglomerando ainda fatores que caracterizem a condição acústica industrial. De acordo com De Marco (1982), a simples existência de fechamentos num recinto dá origem aos sons refletidos e implica o surgimento da 'intensidade reverberante'. A reverberação depende de três aspectos na distribuição do som no recinto:

- O som reverberante que persiste certo tempo no ambiente, depois de a fonte deixar de emitir som (isso virá a perturbar a clara percepção do som e a inteligibilidade da fala);
- Absorção dos diferentes materiais, seletiva com relação à frequência e ao espectro do som direto;
- Distribuição dos materiais absorventes colocados de maneira heterogênea no recinto.

Segundo Paya (1994), o tratamento ou correção acústica refere-se à melhoria da audição dos sons que nos interessam. Além de multiplicarem os ruídos devido à mecanização do ambiente, com a adoção muito generalizada do concreto armado, os edifícios constituem verdadeiros conjuntos monolíticos, ocorrendo maior facilidade de propagação de todos os tipos de vibrações.

Do ponto de vista acústico, será sempre desejável a ocorrência de ambientes com baixa transmissão acústica e reverberação. Os pontos básicos a serem considerados sobre tal aspecto referem-se às características acústicas dos materiais de construção.

Com relação à acústica, que se preocupa com o controle da questão do ruído, toma-se o processo de estudo do ruído industrial, dentro da acústica arquitetônica, com o controle dos sons indesejáveis, trabalhando no projeto de redução dos níveis de ruído do ambiente através de:

- Uso de materiais absorventes e isoladores de ruído na composição da estrutura da edificação;
- Separação de atividades ruidosas, visando a uniformizar os níveis de ruído no programa arquitetônico, e especificadas no projeto executivo da obra;
- Distanciamento entre as fontes ruidosas e áreas de trabalho, visando ao amortecimento do ruído pela distância, na fase de detalhamento do projeto executivo.

Na fase de operação da unidade industrial, as formas de controlar o ruído, do ponto de vista do ambiente, são:

- Isolamento das fontes de ruído por enclausuramento dos componentes ruidosos;
- Tratamento acústico das paredes e divisórias para absorver e/ou refletir o ruído;
- Criação de locais com baixos níveis de ruído para descanso dos usuários destes ambientes (CAMAROTTO, 1998).

Suter (1996) refere-se à necessidade de um Programa de Conservação Auditiva efetiva, através da constatação de que o ruído ocasiona um dos mais freqüentes problemas ocupacionais, a PAIR. Afirma ainda que os efeitos do ruído no organismo vão além da perda auditiva, mostrando uma razão adicional para a proteção do trabalhador através da utilização de um PCA.

Gonçalves (2004) afirma que o Programa de Preservação da Audição – PPA tem como objetivo a preservação da audição por meio da identificação de riscos, monitoramento auditivo, medidas de proteção contra o ruído e medidas educativas com objetivo da redução e o controle deste. As estratégias de ação dos programas preventivos são empregadas conforme a concepção teórico-metodológica que se adota para a explicação do processo saúde-doença no trabalho.

Oliveira (1995) destaca que, para implantação de ações voltadas à prevenção da saúde do trabalhador, é preciso conhecer alguns aspectos:

- Condição de saúde do trabalhador;
- Política e objetivos da empresa em relação à saúde do trabalhador, pois definirão o ambiente e as relações de trabalho;
- Processo produtivo e sua influência sobre a saúde dos trabalhadores;

- Quanto ao ambiente, caracterizar o ruído em seu comportamento geral e nos pontos críticos no local de trabalho.

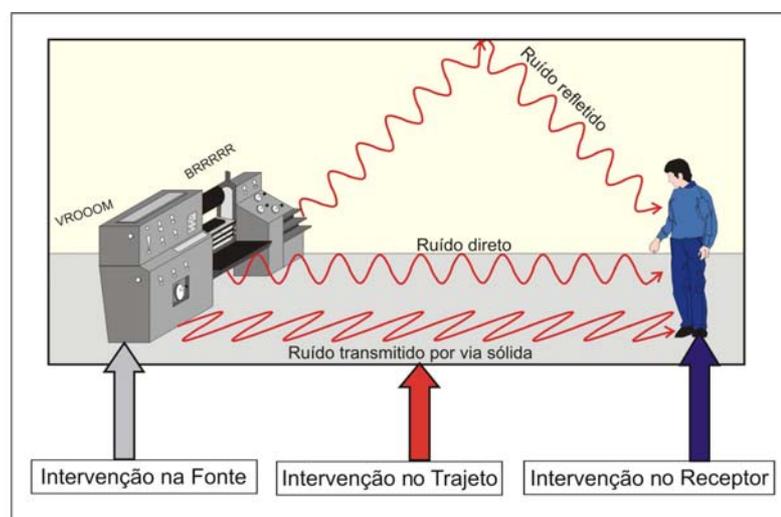
Didoné (1999) relata que todo o ambiente de trabalho que ultrapasse 85dB deve ser considerado uma ameaça para a saúde do trabalhador, necessitando de medidas preventivas, independentemente do tempo de exposição, e conseqüentemente a implantação de um Programa de Conservação Auditiva – PCA.

Conforme Santos et al (1994), o PCA é um conjunto de medidas coordenadas que tem o objetivo de impedir que determinadas condições de trabalho provoquem qualquer ameaça à saúde auditiva. Para isso, deve-se contar com uma equipe multidisciplinar, pois são necessárias medidas na área da saúde e segurança do trabalho.

Stewart (1996) sugeriu a estruturação do PCA baseado nos seguintes componentes: medição do ruído na fábrica, identificação dos trabalhadores expostos, utilização dos EPIs, medidas informativas sobre o programa, avaliação de audiometrias admissionais e seqüenciais, além da estruturação física do ambiente favorável para a absorção do ruído.

Gerges (1992) considera procedimentos básicos para um PCA: avaliação do ruído, medidas de redução dos níveis e do tempo de exposição a ele, especificações do ruído para novas instalações, e educação, supervisão e monitoramento audiométrico.

Santos et al (1994) reforçam que as medidas de controle de ruído, essenciais no PCA, devem se basear em três grupos de conformidade que afetam a higiene industrial na área acústica, procurando sistematizar um conjunto de medidas e intervenções significativas para o controle do ruído: estudos sobre o ambiente de trabalho, as fontes emissoras e a saúde auditiva do trabalhador, conforme demonstração na Figura 10.



Fonte: Adaptação de SANTOS et al (1994)

Figura 10 – Esquemática do ruído refletido, direto e transmitido por via sólida.

Santos et al (1994) e Nepomuceno (1977) elencam os principais aspectos a serem observados nas três dimensões relatadas na Figura 8:

- Intervenção na Fonte:
 - Aumento da distância da fonte emissora;
 - Redução da concentração de máquinas;
 - Substituição por máquinas mais silenciosas;
 - Alteração no ritmo de funcionamento;
 - Melhorias ou adequação da manutenção preventiva;
 - Alteração da fonte emissora.
- Intervenção no Trajeto:
 - Isolamento das fontes:
 - ⇒ Blindagem metálica pesada no exterior;
 - ⇒ Blindagem de material absorvente no interior;
 - Aplicação de materiais absorventes no ambiente;
 - Colocação de barreiras de dispersão do ruído;
 - Instalação de silenciadores ou ressonadores no percurso;
 - Tratamento fonoabsorvente;
 - Alteração do posicionamento do equipamento em relação aos receptores.
- Intervenção no Receptor:
 - 1 – Sobre o tempo de exposição:
 - ⇒ Redução da jornada de trabalho;
 - ⇒ Reorganização do trabalho;
 - ⇒ Aumento de pausas.
 - 2 – Proteção sobre o indivíduo:
 - ⇒ Cabines isolantes;
 - ⇒ Protetores auriculares.

Gerges (1992) concorda e afirma que medidas de controle do ruído perfazem todo o ciclo de adoção de providências e tomadas de decisões em relação à fonte emissora, o percurso ou trajeto e, por fim, o trabalhador. O autor explica ainda que o controle do ruído nas fontes emissoras pode ser feito por enclausuramento como solução do problema na trajetória de propagação do ruído, sendo indicada para máquinas que já instaladas e em funcionamento. O enclausuramento da fonte emissora pode ser realizado numa ação de fechamento total da máquina ou ainda somente do motor que gera o ruído.

Segundo Fiorini e Nascimento (2001), outros programas complementares e fundamentais para se atingirem as metas do PCA poderiam ser estruturados concomitantemente ao projeto-base.

Santos et al (1994) asseveram que ainda deve-se levar em consideração a criação de ambiente e condições de trabalho adaptadas ao homem, o que reforça as idéias da participação do trabalhador na discussão das medidas de controle de ruído, não somente por uma relação de trabalho de natureza democrática, mas porque eles podem desempenhar papel determinante no monitoramento ambiental, na identificação de problemas e soluções nas atividades diárias.

Malchaire (2006) propõe uma estratégia de diagnóstico da exposição do ruído através de um método que contempla três níveis:

- Observação: objetiva o reconhecimento dos problemas e a caracterização das situações de trabalho em todas as circunstâncias, podendo ser executada pelos próprios trabalhadores, a identificação de soluções imediatas e a soluções com ajuda de especialistas;
- Análise: executada por especialistas da área de segurança e saúde ocupacional, buscando a identificação de medidas técnicas e a organização, e em seguida a aplicação do PCA. Trata-se de situações de trabalho em circunstâncias particulares (uma operação ou uma máquina específica) que foram identificadas no primeiro nível;
- Perícia: executada por peritos em acústica, a fim de encontrar soluções e medidas de controle especiais, lidando com circunstâncias complexas, sendo assim limitada a situações absolutamente necessárias.

Esta estratégia visa a uma aplicabilidade direta na indústria, tendo o auxílio de especialistas quando necessário, para dar certa 'autonomia' na tomada de decisões quanto aos procedimentos para o controle do ruído. Cria-se um processo de busca de soluções em parcerias, que já possui as condições limítrofes estabelecidas e regulamentadas pela legislação que padroniza a questão da emissão do ruído.

Gonçalves (2003) afirma que as medidas preventivas são necessárias para garantir a capacidade auditiva do trabalhador exposto a níveis elevados de ruído, evitando problemas relacionados às dificuldades de comunicação, como também às questões de segurança, a exemplo de localizar a fonte sonora a distância, ouvir sinais sonoros de alerta, entre outros.

Podem-se associar a estas medidas, na área de segurança, os protetores auriculares como Equipamentos de Proteção Individual – EPI e, em engenharia de processos, a

manutenção ou substituição de máquinas e equipamentos ruidosos, como medida preventiva, facilitando a relação do trabalhador com a ambiente de trabalho.

3.2. O ruído e o homem

Os especialistas da área da saúde auditiva informam que a perda da audição é apenas uma das conseqüências da exposição aos ruídos ocupacionais. Estes são responsáveis por inúmeros outros problemas, como a redução da capacidade de comunicação e de memorização, perda de sono, envelhecimento prematuro, distúrbios neurológicos, cardíacos, circulatórios e gástricos. Muitas de suas conseqüências perniciosas são produzidas inclusive de modo sorrateiro, sem que a própria vítima perceba, além de atuar como um fator predisponente à ocorrência de acidente.

Seligman & Ibañez (1993) consideram que o ruído é um dos agentes ocupacionais nocivos mais encontrados no ambiente de trabalho. Descreveram a perda auditiva como lenta, progressiva e irreversível, com características sensório-neural, geralmente simétrica e com aspectos clínicos relativamente definidos.

Araujo (2002) indica que os sintomas auditivos geralmente são representados por perda auditiva, zumbido, dificuldades na compreensão da fala. Já os extra-auditivos são alterações no sono e falhas na comunicação e transtornos e efeitos neurológicos, vestibulares, digestivos, comportamentais, cardiovasculares e hormonais.

Fiorini, Silva & Bevilaqua (1991) relataram a alta prevalência de queixas em metalúrgicos, como dores de cabeça, alterações gastrintestinais, insônia, tontura, nervosismo, irritabilidade, dificuldade de comunicação e zumbido, sendo deste último a reclamação mais recorrente.

Segundo Silva & Costa (1998), o ruído ocupacional é considerado o principal responsável pela perda auditiva no ambiente de trabalho, além de ser um fator de risco para doenças dos sistemas cardiovascular, endócrino, metabólico, gastroduodenal e neurológico. O ruído ambiental está relacionado a numerosos efeitos prejudiciais à qualidade da vida humana, sendo considerado o agente nocivo no meio laboral mais freqüente no ramo industrial.

Didoné (1999) relata que não é uma minoria, e sim toda uma classe de trabalhadores brasileiros que estão expostos a níveis de pressão sonora acima de 85dB. Apesar de estar previsto legalmente, na realidade o Programa de Conservação Auditiva – PCA se limita à prática de medição dos níveis de pressão sonora, realização de audiometrias e distribuição de protetores auditivos.

O Comitê Nacional de Ruído e Conservação Auditiva (1994) define Perda Auditiva Induzida por Ruído – PAIR como doença ou agravo relacionado ao trabalho, ou seja, a diminuição gradual da acuidade auditiva decorrente da exposição continuada ocupacional a níveis elevados de ruído. Diferentemente da PAIR, o trauma acústico é caracterizado por uma perda súbita da audição provocada por emissão instantânea ao elevado nível de pressão sonora.

A PAIR é a principal causa de problemas auditivos em adultos, afetando o bem-estar físico e mental. Diariamente as pessoas são expostas aos Níveis de Pressão Sonora – NPS em seus ambientes de convívio social sem ter o conhecimento dos danos, mas é no trabalho que esses NPS são mais prejudiciais para a audição humana, pois há uma associação do elevado nível de ruído com um longo período de exposição dentro do ambiente de trabalho.

Fernandes & Morata (2002) definem PAIR como alterações dos limiares auditivos do tipo neurossensorial, decorrentes da exposição ocupacional sistemática a níveis de pressão sonora elevados. Esta tem como características principais a irreversibilidade e a progressão gradual com o tempo de exposição ao risco.

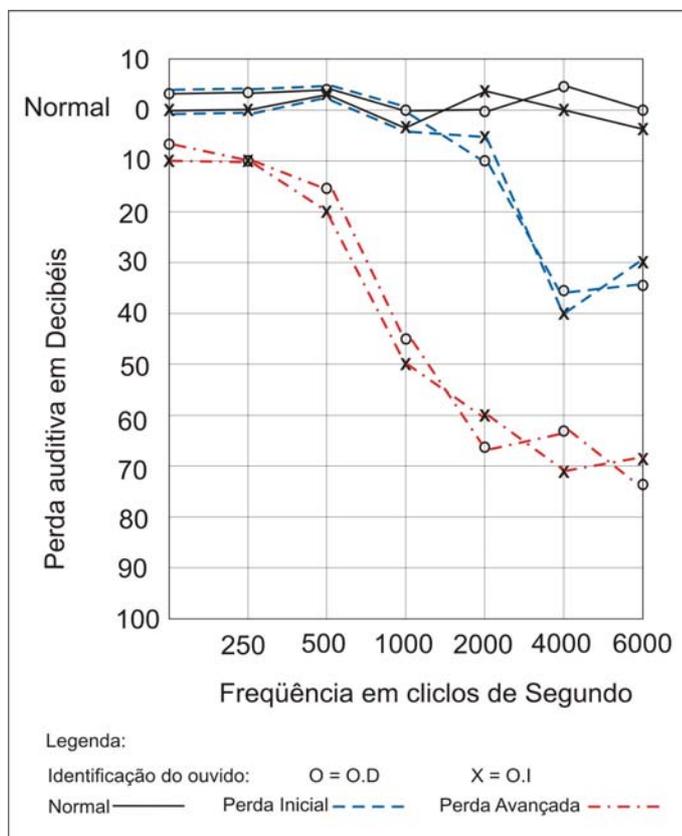
Gonçalves (2003) indica que nos estudos de Mets (1971) e Cantrell et al (1982), a PAIR inicia sua instalação após cinco anos de exposição constante ao ruído, mas, após 10–15 anos de exposição a perda auditiva tende a estacionar, não ultrapassando limiares de 70–75dB nas frequências agudas, e 40dB nas frequências graves.

Pesquisas sugerem que a PAIR pode ser agravada por meio da exposição simultânea do trabalhador a ruídos intensos e outros agentes. O resultado dessa associação de fatores indica que lentamente vão causando estresse, distúrbios físicos, mentais e psicológicos, insônia e problemas auditivos. Além disso, sintomas secundários, como aumento da pressão arterial, paralisação do estômago e intestino, má irrigação da pele e até mesmo impotência sexual, podem aparecer em casos extremos de exposição ao ruído. Nestes casos, as primeiras queixas são incômodo e zumbido, e com o passar do tempo surge a dificuldade para entender a fala.

Guerra et al (2005) explica que a diminuição gradual da acuidade auditiva, num período de geralmente 6 a 10 anos de exposição a elevados níveis de NPS, causam lesões irreversíveis, porém não ocasiona a incapacidade ocupacional, o que dificulta a notificação do agravo da saúde do trabalhador.

Para Gonçalves (2003), ao diagnosticar a PAIR é necessário caracterizar a alteração auditiva de uma população que é exposta ao ruído ocupacional e considerar os fatores biológicos individuais e a suscetibilidade individual. Esta suscetibilidade responde pela

diferenciação de comprometimento da audição e a intensificação da deterioração de cada sistema auditivo quando exposto ao ruído. Adicionando-se isto ao acompanhamento realizado através de audiometrias, cria-se um histórico preciso da evolução da PAIR, conforme demonstra a Figura 11.



Fonte: NUDELMANN et al (1997)

Figura 11 – Audiogramas – registro normal, perda inicial e avançada causadas pela PAIR

Paya (1994) chama a atenção para o fato da unanimidade existente entre as autoridades médicas de todo o mundo, que reconhecem que as doenças mentais vêm aumentando nos últimos trinta anos e não vacilam em atribuir grande parte deste aumento à interferência do ruído nos ambientes. Numerosas experiências têm demonstrado claramente que o rendimento de uma pessoa, que exerce a atividade ou trabalho no meio de um ruído intenso, diminui sua produção em grandes proporções tanto em quantidade como em qualidade.

Segundo Araujo (2002), o ruído em excesso tem o poder de lesar considerável extensão das vias auditivas, desde a membrana timpânica até regiões do sistema nervoso central. No órgão do Corti ocorrem as principais alterações responsáveis pela perda auditiva induzida pelo ruído, pois suas células ciliadas externas são particularmente sensíveis às altas e prolongadas pressões sonoras, a chamada “exaustão metabólica”, com depleção enzimática e energética, e redução do oxigênio e nutrientes. Com a morte celular, o espaço

é preenchido por formações cicatriciais, o que resulta em déficit permanente da capacidade auditiva.

Gonçalves (2004) explica que o ser humano é um ser social, portanto comunicativo, sempre em relação dialética com seu meio, e sua integração/exclusão na sociedade depende de sua habilidade comunicativa, comprometida no portador de PAIR.

Gerges (1992) esclarece que o primeiro efeito fisiológico de exposição aos altos níveis de ruído é a perda de audição na banda de frequência de 4Hz a 6kHz, geralmente acompanhada pela sensação da ausência de percepção, mesmo após o seu afastamento da fonte emissora. Este efeito é temporário; portanto, o nível limiar da audição é recuperado, ocorrendo somente a mudança temporária do limiar da audição. Quando ultrapassa a mudança temporária e a audição começa a sentir os efeitos por um tempo mais duradouro, inicia-se assim o processo de PAIR, que é irreversível.

Russo (1993) afirma que, mesmo durante o sono, o habitante das grandes cidades vive imerso numa atmosfera de ruído com a qual parece estar acostumado: tráfego, buzinas, alarmes contra roubos, escapamentos, motores envenenados, algazarras, etc.; e que, por mais estranho que possa parecer, este 'bombardeio sonoro' não o abandona nem quando procura se distrair em festas, cinemas, teatros e espetáculos musicais, uma vez que a sociedade moderna esqueceu-se do controle de volume dos sistemas de amplificação, tanto individuais quanto coletivos.

Vieira (1999) afirma que há um desencontro de informações sobre o limite de dB para uma pessoa viver bem; os resultados encontrados em trabalhos científicos relacionados ao ruído ambiental demonstram que uma pessoa só consegue relaxar totalmente durante o sono, em níveis de ruído abaixo de 39dB.

Fernandes & Morata (2002) referem que, quando o estímulo sonoro atinge níveis acima de 70-80dB, o processo de proteção é ativado, estimulando a contração do músculo estapédio (através do nervo facial), que faz alterar a forma de vibração do estribo sobre a janela oval.

Porém, essa proteção espontânea do sistema auditivo humano não consegue, mesmo associado à utilização de EPIs, produzir uma redução significativa dos níveis altos de ruído. Para a maior proteção da audição, é importante considerar que dentro do ambiente industrial os NPS estão em constante crescimento.

Hétu, Getty & Quoc (1995) relatam que o NPS de 70 decibéis já não é agradável ao ouvido humano, e acima de 85 decibéis começa a danificar o mecanismo que permite a audição; apontam ainda que um ruído de 85dB altera a comunicação entre pessoas com audição normal num raio maior que um metro.

Starkey (1999) descreve a classificação do som em função do ponto auditivo do homem na escala de 20Hz e 20.000Hz (Figura 12). É somente neste intervalo de frequência que as terminações nervosas do ouvido humano entram em ressonância com a onda mecânica, gerando pulsos elétricos que produzem no cérebro a percepção sonora. Sendo assim, o cérebro é incapaz de detectar sons com frequências muito baixas (infra-sons) ou sons com frequências muito altas (ultra-sons).



Fonte: Adaptação de BISSCHOP et al (2001)

Figura 12 – Escala auditiva do homem

Guerra et al (2005) explicitam que, embora a PAIR tenha atingido proporções praticamente endêmicas no meio industrial, os estudos científicos sobre a sua história natural nos trabalhadores brasileiros ainda são escassos. Destacam também a grande imprecisão na quantificação do nível de exposição individual ao ruído observada nas indústrias brasileiras.

Lutman (2000) estudou a relação entre a exposição ao ruído e a perda auditiva, relacionando-a com o tempo de exposição ao ruído. Observou que há um risco leve na exposição a 80dB, um risco marginal a 85dB e um risco considerável a partir de 90dB, argumentando que o aumento do nível de ruído implica a necessidade da diminuição do tempo de exposição do indivíduo, a fim de se evitar que o sistema auditivo seja afetado.

A importância da exposição ao ruído no ambiente de trabalho e a ocorrência de PAIR em indústrias metalúrgicas foram referidos por estudos que se intensificaram a partir da década de 1970, com o aumento da industrialização nacional.

Fiorini (1994) realizou uma pesquisa com o objetivo de acompanhar a audição de 80 trabalhadores de uma indústria metalúrgica, num período de três anos. Nessa pesquisa, foi realizada uma proposta de classificação de entalhe audiométrico (gota acústica), sendo definido como rebaixamento do nível auditivo em relação à normalidade, nas frequências de 3kHz, 4kHz ou 6kHz, considerando a diferença de pelo menos 10dB da frequência anterior ou posterior à frequência analisada. Assim, o entalhe pode ser um importante indicador de desenvolvimento de PAIR ao longo do tempo, e a análise separada da mudança de limiar em mais de uma frequência é essencial para identificar precocemente as alterações auditivas.

Toda a problemática que envolve a questão do ruído e os efeitos sobre o trabalhador afeta não somente a vida produtiva do indivíduo, mas também a sua relação extralaboral.

Magni (1997) aponta a empregabilidade como fator de preocupação para o portador de redução auditiva, pois, quando diagnosticado, o trabalhador tem dificuldade de se aceitar como ensurdecido devido ao medo de perder o emprego e à ciência de que as chances de conseguir outra colocação são consideradas reduzidas.

Gonçalves (2003) explica que, além da questão da empregabilidade, outras condições são vivenciadas pelo portador de redução auditiva, como o isolamento familiar e social que os indivíduos se impõem devido ao constrangimento, à tensão, e a ansiedade em relação ao convívio social.

Para Silva & Costa (1998), a avaliação pericial da surdez ocupacional é tarefa multidisciplinar que envolve o médico e a fonoaudióloga no estudo do paciente, e um profissional de segurança e medicina do trabalho no estudo das condições do ambiente.

A qualidade de vida do funcionário e o ruído produzido no local de trabalho são questões antagônicas. Pensando nisso, a intervenção deve ser feita de modo abrangente, englobando a fonte ruidosa e o trabalhador, conquistando assim um agradável ambiente de trabalho.

Portanto, a busca da redução do tempo de exposição do trabalhador a altos níveis de ruído deve estar associada às iniciativas que envolvam o tratamento das fontes emissoras e as condições ambientais, que devem ser analisadas e avaliadas para que uma ação conjunta auxilie na melhora da qualidade de vida do trabalhador.

Quando em um recinto se encontram valores de Tempo de Reverberação acima do que foi preestabelecido para essas frequências, as conseqüências são sentidas principalmente pelo indivíduo que está exposto a esse excesso, provocando reações em seu organismo, as quais serão notadas com o passar do tempo.

Para Nepomuceno (1977), a acústica estuda as vibrações mecânicas, contínuas ou não, nos meios elásticos. Dentro da escala auditiva do homem estão as vibrações contidas na faixa de audiodfrequência, ou seja, vibrações mecânicas que podem dar a sensação subjetiva de ouvir na forma de som.

Almeida et al (2000) realizaram uma pesquisa com máquinas que produzem ruído contínuo, e observaram que intensidades de 50dB e 60 dB, quando mantidas durante longo tempo, poderiam causar alterações leves e definitivas na audição, demonstrando que, mesmo abaixo dos limites apontados pela lei, já ocorrem prejuízos a saúde do trabalhador.

Segundo Crepon (1996) e Bisschop et al (2001), a vibração é um tipo rápido de movimentos oscilatórios em torno de uma posição de equilíbrio. Ela emite ondas mecânicas caracterizadas por sucessões de pressões e rarefações de moléculas no meio em que se propagam, engloba ondas mecânicas longitudinais transmitidas a um determinado meio e propagação retilínea.

Matoba (1994) afirma que, em geral, a vibração típica dos equipamentos é maior do que $0,316\text{m/s}^2$ e, quando o nível de pressão sonora é maior que 95dB, com a ação repetida desses estressores no corpo humano, pode-se sobrecarregar e prejudicar não somente o sistema nervoso periférico, mas também o sistema nervoso central.

Sendo assim, é preciso reafirmar a importância da realização da intervenção no conjunto da condição ocupacional, a fim de garantir a maior atenuação possível do ruído.

3.3. Som, ambiente e indústria

Para a caracterização da condição acústica de um ambiente a ser estudado, é preciso entender que a arquitetura e o som são inseparáveis, visto que o espaço por si já apresenta determinada sonoridade.

Para Gonçalves & Duarte (2006), o estudo dos precedentes arquitetônicos dos edifícios industriais mostra que, a partir da Segunda Guerra Mundial, a banalização da arquitetura do *Internacional Style* – a intencionalidade de padronização da arquitetura segundo os critérios internacionais – veio acompanhada pela crença de que a tecnologia de sistemas prediais oferecia meios para o controle total das condições ambientais, como a acústica, a térmica, a iluminação e a ergonomia de qualquer edifício. Isso levou à repetição das caixas de vidro e ao inerente e exacerbado consumo de energia artificial nas décadas seguintes, espalhando-se por cidades de todo o mundo.

Segundo Nepomuceno (1977), a acústica arquitetônica tem por finalidade o estudo das condições acústicas aceitáveis nas edificações, e é também conhecida como acústica das construções, já que sua principal finalidade reside exatamente em orientar acusticamente a construção de edifícios.

A acústica de ambientes tem por escopo o estudo da forma e tratamento das salas de modo a torná-los, neste sentido, satisfatórias. A acústica de edificações tem por finalidade o isolamento do barulho, visando ao conforto, isolando uma sala da outra; e a acústica arquitetônica tem por finalidade melhorar as condições de cada sala considerada, observando a absorção, o *layout* e os materiais aplicados.

Camarotto (1998) explica os dois aspectos que devem ser entendidos quanto às condições acústicas de um ambiente:

1) O controle das características de audibilidade do ambiente e da inteligibilidade da comunicação sonora, visando a condições que favoreçam a qualidade dos sons e de ouvir bem. Refere-se à ambientes destinados à comunicação sonora, como auditórios, salas de espetáculos, etc., em que a legibilidade dos sons, mormente discursos ou músicas, é essencial para a qualidade dos ambientes que necessitam de algum tipo de comunicação, mesmo que informal, tais como habitações e recintos de lazer;

2) O isolamento contra sons indesejáveis, evitando prejuízos causados por ruído ambiente. O ruído ambiental é característico de locais públicos e locais de trabalho, onde os sons não são gerados direta e exclusivamente como fim de comunicação ou lazer. São resultados da cinética de diversos elementos presentes no ambiente que, ao exercerem suas funções, emitem sons aleatórios sem representação simbólica relacionada às funções principais destes elementos.

Para o estudo em questão, o segundo aspecto se insere na realidade da indústria metalúrgica, aglomerando ainda fatores que caracterizem a condição acústica industrial.

Nepomuceno (1977) assevera que o barulho industrial é originário das máquinas que operam na indústria e, como não poderia deixar de ser, provém das vibrações de corpos, superfícies e de máquinas, sendo estas provocadas pela movimentação de partes móveis das máquinas, utensílios e quaisquer objetos que sejam excitados por tais vibrações.

De acordo com De Marco (1982), a simples existência de fechamentos num recinto dá origem aos sons refletidos e implica o surgimento da 'intensidade reverberante'. Do ponto de vista acústico, será sempre desejável a ocorrência de ambientes com baixa transmissão acústica e reverberação. Os pontos básicos a serem considerados sobre tal aspecto referem-se às características acústicas dos materiais de construção.

Segundo Gerges (1992), os ambientes internos devem satisfazer as condições acústicas dependendo dos objetivos que serão empregados. Se uma fonte opera continuamente em um ambiente, somente a absorção nas paredes e no ar permitirá um estado estacionário dentro dele. Nesta condição, a energia emitida pela fonte é igual à energia absorvida pelas paredes e pelo ar. Se a energia absorvida for alta, o estado estacionário estabiliza-se rapidamente. Por outro lado, se a energia absorvida for baixa, o crescimento da intensidade é lento.

Silva et al (2007) argumentam que o resultado dessas coletas pode ser transportado para uma reapresentação gráfica denominada mapa acústico, que são cartas que representam o ruído efetivamente existente numa determinada área, podendo ser obtidos

através de medição e/ou através de instrumentos computacionais. O mapa permite identificar visualmente as áreas críticas de um ambiente, determinando os pontos prioritários para a intervenção, caracterizando todo espaço físico segundo os níveis sonoros.

Todos estes aspectos possibilitam a intervenção correta no sentido de amenizar e resolver os problemas ocasionados pelos distúrbios do som no ambiente, influenciando diretamente o nível de qualidade de vida do trabalhador.

O mapa acústico é um instrumento a mais para identificação e quantificação dos pontos críticos existentes no ambiente que está em pleno funcionamento, permitindo intervir com medidas que minimizem a exposição ruidosa.

Maciel (2003) sugere uma formalização do processo de criação, incorporando aspectos acústicos com a finalidade de se construir uma arquitetura acústica, ou seja, a arte de projetar espaços sonoros.

Segundo Souza (2003), a acústica é mais um dos componentes e instrumentos que subsidiam o projeto e que, por isso mesmo, deve ser considerada desde a fase do levantamento de dados. Mas, o que considerar em relação à acústica é uma pergunta constante, e assim como outros parâmetros ganha sua maior ou menor importância em função das prioridades do próprio projeto. No entanto, ignorá-la como parâmetro é não ter domínio suficiente sobre o objeto de estudo com o qual se trabalha, ou seja, O ESPAÇO = O AMBIENTE, tendo de ser tomadas medidas corretivas depois da ocupação.

A preocupação com o ambiente e sua qualidade acústica desde a fase projetual elimina a luta contra o ruído e os ajustes técnicos, pois o projeto já foi adequadamente concebido, levando em consideração questões relevantes ao bem-estar dos ocupantes e à funcionalidade da atividade a ser desenvolvida, trabalhando com conceitos da psicoacústica.

Oitica & Gomes (2004) resumem a psicoacústica como uma ciência relativamente antiga que associa a psicologia com a percepção auditiva em busca do que, no jargão da engenharia, chama-se qualidade sonora. Como a capacidade para ouvir sons (ruídos) varia bastante de pessoa para pessoa, a psicoacústica quantifica as sensações auditivas de volume, som (mais ou menos agudo) e aspereza para torná-lo mais agradável.

A psicoacústica estuda a percepção subjetiva das qualidades (características) do som: intensidade, tom e timbre. Estas qualidades ou características do som estão, por sua vez, determinadas pelos próprios parâmetros do som, principalmente, frequência e amplitude.

Embora esses argumentos estejam avançando dentro do âmbito projetual, ainda é predominante a necessidade de intervenções para reduzir a exposição do ruído dentro dos

ambientes industriais, com a associação de medidas de intervenção na fonte e também no trabalhador.

A estrutura espacial e organizacional do trabalho como conhecemos hoje passou por um processo evolutivo grande, sempre se adequando às necessidades produtivas com o passar do tempo.

Segundo Camarotto (1998), a produção industrial que se conhece hoje teve seu início no século XVIII, com a concepção espacial, um processo de evolução que se estendeu por mais de 300 anos. Naquela época, no início deste processo, a produção era tida como artesanal, pois era executada dentro da moradia do artesão. Porém, ainda no século XVII sofreu mudanças, principalmente no volume de produção em decorrência da acelerada mercantilização promovida pelas grandes navegações, com reflexos na maneira de organizar a produção e, conseqüentemente, nos locais onde esta se dava.

Na segunda metade do século XVIII, com a Revolução Industrial, ocorreram transformações tecnológicas, sociais e econômicas, primeiramente na indústria têxtil e estendendo-se para os demais segmentos. A máquina a vapor trouxe mais autonomia ao processo produtivo, uma vez que a fábrica não precisava mais ser localizada em locais de queda d'água. Aplicando-se também a utilização da tecnologia das máquinas a vapor no transporte, difundiu-se enormemente a troca de produtos, ampliando os mercados na Europa.

Com essas mudanças tecnológicas e com o aumento da produção, foi preciso aumentar o espaço de trabalho nas antigas edificações para acomodar as novas estruturas de máquinas e depósitos de materiais. Como essa adaptação foi feita sobre uma concepção estrutural que não estava preparada para tais mudanças, ocasionou muitos problemas, e somente no século XIX os arquitetos passaram a se preocupar com as questões sociais e funcionais na concepção de um edifício industrial, principalmente nas estruturas e no tratamento, na disposição das funções da fábrica e no conforto ambiental.

Para Mills (1951) apud Camarotto 1998), os novos materiais e estruturas não teriam a capacidade de associar a concepção estrutural com a estética; no entanto, os arquitetos se mantinham distantes de toda essa problemática do imediatismo capitalista a partir da Revolução Industrial, quando o conteúdo estético e de conforto estavam muito aquém do esperado em comparação ao desenvolvimento da área na época.

Entre o final do século XVIII e o início do século XIX, com as precárias e preocupantes condições para os trabalhadores na Inglaterra, geraram-se iniciativas que resultaram na criação de legislação para fábricas e regulamentos das suas características no espaço de trabalho, condição salarial, conforto ambiental, higiene e jornada de trabalho.

Essas ações foram determinantes para modificar as características do local de trabalho, criando-se a caracterização do primeiro emblema do edifício industrial moderno.

Foi no início século XX, com o investimento de capital no ramo de fábricas automobilísticas e a alteração do processo de produção artesanal pelo de produção em série, procedidas por Henry Ford, as plantas passaram a comportar grandes sistemas de montagem.

Porém, os trabalhadores passaram a reivindicar melhores condições de trabalho; revolveram então a visão “padrão” de indústria, promovendo uma mudança de conceito no tipo de planejamento, que visava a mudanças totais nos processos de produção e no uso dos edifícios.

A partir desta visão, já identificada por Grube (1972), ou seja, deste novo conceito industrial, criou-se uma nova concepção de edifícios com o uso de grandes coberturas e galpões unidos de forma que pudessem ser facilmente rearranjados internamente (Figura 13), de acordo com diferentes demandas por espaços de departamentos ou divisões de uma empresa.



Fonte: REID (1951) apud CAMAROTTO (1998)

Fonte: GONÇALVES (2005)

Figura 13 – Comparativo do interior de uma fábrica automobilista dos anos 1950 e a atual realidade interna

As composições internas dos edifícios industriais ainda são muito semelhantes às encontradas na década de 1950; porém, a linha de produção do século XXI abriga uma maior carga de equipamentos, criando um ambiente com predominância de materiais metálicos, tanto nos equipamentos como na estrutura do edifício, uma vez que a adoção de estruturas metálicas se dá em razão da necessidade de se vencer grandes vãos para abrigar atividades multifuncionais.

Camarotto (1998) argumenta que era ressaltado o efeito arquitetônico impressionante, com concepção de megaprojetos, que utilizava a noção de edifício

multifuncional, comportando todas as funções da produção, desde a fabricação até a administração; era derivada de uma concepção com fortes influências da escola de administração racional do trabalho.

Com a mudança de característica do trabalhador industrial, a atuação humana foi alterada, passando de produtor a operador de máquina, o que foi incorporado cada vez mais na fabricação dos produtos, criando-se os postos de trabalho especializados e individuais.

Seguindo os conceitos do Taylorismo, voltou-se novamente à produção do edifício em função da produção, deixando-se de lado as melhorias de conforto para o trabalhador. As bases deste projeto arquitetônico eram principalmente os fluxos de produção: o diagrama de movimentação interna da fábrica seguindo no sentido longitudinal do edifício e as ampliações na horizontal, e não a criação de condições ambientais favoráveis ao trabalhador.

Guimarães & Dacanal (2006) explicam que, no século XIX, as antigas preocupações emergiram com intensidade crescente, somando-se a outras decorrentes das políticas colonialistas de vários países europeus e também da Revolução Industrial, em razão das condições geradas pela multiplicidade de conseqüências dos processos, impactos e riscos ambientais relacionados às viagens internacionais e às precárias condições de urbanização e industrialização, degradando a qualidade ambiental e de vida das cidades e de seus habitantes.

Para Hoffman (2000), os governos e ativistas sociais têm sido historicamente os mais proeminentes elementos a ditarem as práticas ambientais corporativas. Durante as décadas de 1970 e 1980, estas duas forças foram as condutoras predominantes das práticas ambientais corporativas, criando integração, embora fraca, entre preocupações ambientais e estratégias de negócios, chamadas de 'adaptação resistente'.

Segundo Souza (2002), a meta central dessa integração é identificar os fatores associados com a resposta das organizações às questões ambientais e aos mecanismos através dos quais estes fatores operam, criando uma evolução das estratégias ambientais em quatro fases: gestação, politização, legislação e litigação. Assim, a gestão ambiental empresarial aplicada na dinâmica industrial a partir do ano 2000 é condicionada pela pressão das regulamentações, pela busca de melhor reputação, pela pressão de acionistas, investidores e bancos para que as empresas reduzam o risco ambiental, pela pressão de consumidores e pela própria concorrência.

Para Gheno (2006), a gestão ambiental é a resposta natural da empresas ao novo cliente: o consumidor preocupado com o ambiente. A empresa passa a ser sinônimo de

bons negócios e no futuro será a única forma de empreender negócios de maneira duradoura e lucrativa, atingindo inclusive o espaço de trabalho das empresas.

Segundo Egan (1988), a nova dinâmica organizacional do espaço de trabalhar vê o conforto ambiental, que na arquitetura é compreendido como a combinação de aspectos fisiológicos (visuais, higiênicos, acústicos, térmicos), psicológicos (de reconhecimento, adaptação), funcionais (atividades, permanência, convivência) e dimensionais (espaços para as atividades, antropometria), como instrumento atuante no conjunto dos espaços artificialmente construídos para uso humano, a fim de transmitir uma sensação agradável aos usuários destes espaços.

3.3.1. Tratamento acústico e reverberação

Em recintos fechados, os principais problemas de ruído são relacionados à inteligibilidade da palavra falada, concentração, perturbação do sono e até mesmo a provocação de problemas na saúde humana. Entre os atributos acústicos que interagem num ambiente fechado está a reverberação, um índice objetivo de qualidade sonora que tende a ser uniforme, independentemente da posição do ouvinte dentro do ambiente.

Nepomuceno (1977) afirma que características como eco ou reverberação são elementos que devem ser identificados e devem receber atenção para a sua redução ou possível neutralização, considerando-se as condicionantes do conforto ambiental, que envolvem temperatura, iluminação, ergonomia e acústica.

Egan (1988) afirma que o isolamento acústico refere-se à capacidade de certos materiais formarem uma barreira, impedindo que a onda sonora (ou ruído) passe de um recinto a outro. Nestes casos se deseja impedir que o ruído alcance o homem. Normalmente são utilizados materiais densos (pesados), como, por exemplo, concreto, vidro, etc. para a criação das barreiras.

Segundo Paya (1994), o isolamento acústico consiste em impedir que os sons se propaguem de um lado para outro de uma partição, ou pelo menos que, ao transmitir-se, percam a maior parte da sua intensidade.

Gerges (1992) afirma que é possível definir as características das matérias ou dispositivos a serem utilizados num isolamento específico, a partir dos conhecimentos de grandezas, como Perda de Transmissão (PT) e Diferença de Nível (D), onde PT é a relação logarítmica entre energia transmitida e incidente.

$$PT = \frac{10 \log 1}{t} \quad (3)$$

Onde:

PT = Perda de Transmissão

t = Coeficiente de Transmissão Sonora

Já D (Diferenciação de Nível de Pressão Sonora) é o resultado da subtração entre os Níveis de Pressão Sonora – NPS, antes e depois da utilização do dispositivo isolador, pois as interferências locais de onde são feitas as medições influenciam no resultado, devido aos fatores relativos do ambiente.

$$D = N_1 - N_2 \quad (4)$$

Onde:

D = Diferenciação de Nível de Pressão Sonora

N1 = NPS antes do isolamento acústico

N2 = NPS depois da utilização do dispositivo isolador.

Quanto se pensa em isolamento acústico, a utilização de barreiras físicas é rapidamente associada, sabendo-se que a passagem do ruído de um ambiente para outro nunca é completamente barrada. Sendo assim, trabalhar com absorção acústica também é uma opção para a diminuição do ruído ambiental, pois o material que tem grande poder de isolamento acústico quase não tem poder de absorção acústica, e vice-versa.

A absorção acústica é um fenômeno que minimiza a reflexão das ondas sonoras no ambiente, diminuindo ou eliminando o nível de reverberação. Contrariamente aos materiais de isolamento, estes são materiais leves (baixa densidade), fibrosos ou de poros abertos. As ondas sonoras do ar entram nesses materiais porosos e, por meio do atrito das partículas de ar nas fibras do material, a energia se perde como calor, e esta fração de energia não mais é recuperada sob forma de som, proporcionando um curto tempo de reverberação.

Para trabalhar com os materiais absorventes é preciso conhecer seus coeficientes de absorção, para então poder planejar a melhor aplicação no ambiente segundo as características físicas e de atividade, buscando a redução do Tempo de Reverberação – TR, calculado pela Fórmula de Sabine.

O coeficiente de absorção de cada material varia de 0 a 1 ($\alpha = 1$ significa que o som é totalmente absorvido), de acordo com a frequência (em Hertz) de emissão do som. Os materiais porosos e fibrosos apresentam baixos coeficientes de absorção sonora em baixas frequências; porém, ressonadores que são bons difusores do ruído em baixas frequências podem dar o apoio aos materiais absorventes e garantir a redução da reverberação do ruído no ambiente.

Bistafa (2007) explica que a reverberação pode ser entendida como uma série contínua no tempo de ecos discretos. No entanto, o seu efeito pode ser tão prejudicial à inteligibilidade da fala, sendo necessário controlá-la adequadamente.

Quando um som é gerado dentro de um ambiente, escuta-se primeiramente o som direto e, em seguida, o som refletido. No caso em que essas sensações se sobrepõem, confundindo o som direto e o refletido, teremos a impressão de uma audição mais prolongada, ou seja, a reverberação.

Segundo a NBR-11957 (1988), a reverberação é a reflexão do som, várias e sucessivas vezes, no contorno do recinto e nas superfícies de tudo o que nele estiver contido, sofrendo variação segundo a característica de absorção dos materiais.

Sabine (1964) observou que a qualidade acústica do ambiente estava vinculada ao intervalo de tempo entre o desligamento da fonte sonora e a extinção do som remanescente dentro do ambiente. A esse intervalo de tempo ele atribuiu o termo Tempo de Reverberação – TR.

O TR, segundo a NBR-12179 (1988), é o intervalo de tempo no qual a intensidade sonora cai para a milionésima parte da intensidade original (queda de 60dB), que corresponde na prática à extinção dos sons habituais de média intensidade. Para definir a utilização da Fórmula de Sabine, foram adotados critérios de utilização quando o coeficiente médio de absorção for menor ou igual a 0,30.

Gerges (1992) ensina que, para se prever o tempo de reverberação dentro de um ambiente, é necessário saber o volume da sala, a área das superfícies e o coeficiente de absorção de cada revestimento.

A partir da descoberta de Sabine pode-se efetuar o Cálculo do TR, que em sua homenagem é denominada Fórmula de Sabine:

$$TR = \frac{0,161 \cdot V}{\sum_1^n S_{n-1} \cdot \alpha_{n-1} + S_n \cdot \alpha_n} \quad (5)$$

Onde:

TR = Tempo de Reverberação (s)

V = volume da sala (m³)

S = área do piso, paredes e teto (m²)

α = coeficiente de absorção dos materiais

Sabendo-se:

$$\sum_1^n \rightarrow [S_n \cdot \alpha_n + S_{n1} \cdot \alpha_{n1} + \dots S_{nx} \cdot \alpha_{nx}] + S_{nx} \cdot \alpha_{nx} \quad [m/s]$$

Os materiais que revestem o ambiente influenciam no tempo da propagação da reverberação. Se as paredes do local forem muito absorventes (pouco reflexivas), o TR será muito baixo; caso contrário, ocorrerão muitas reflexões e o TR será elevado. Os coeficientes de absorção dos materiais são encontrados em diversas literaturas.

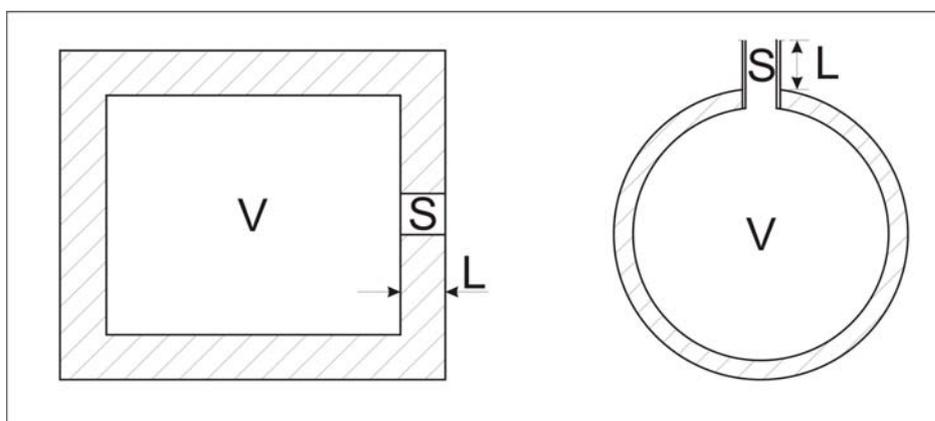
Segundo a NBR-12179 (1988), o Tempo Ótimo de Reverberação – TOR, por faixas de frequência, é o tempo que garante uma inteligibilidade da comunicação e uma menor fadiga do sistema auditivo do trabalhador. Nas frequências graves e médias, para ambientes industriais, o TOR é estabelecido diretamente; já para as frequências agudas, há a necessidade de se fazer uma correção. Critérios de determinação do TOR foram adotados segundo o volume do edifício e o tipo de atividade executada.

Quando em um recinto se encontram valores de TR que não se enquadram nos critérios adotados e ficam acima do preestabelecido para as frequências, as consequências são sentidas principalmente pelo indivíduo que está exposto a esse excesso, provocando reações em seu organismo, as quais serão notadas com o passar do tempo.

Seligman & Ibañez (1993) descreveram que as pessoas que trabalham em ambiente ruidoso queixam-se de fadiga, zumbido, queda no rendimento laboral, alterações neurovegetativas e estresse.

Didoné (1999) afirma que o ruído deve ser atenuado na fonte, em sua trajetória, e o ambiente deve ser tratado. Atualmente todos os responsáveis estão cientes e informados dessa condição; entretanto, optaram pela proteção individual, por conta de seu baixo custo e rápida aplicação, além de a responsabilidade dos danos poder ser transferida para os trabalhadores.

O ressonador Helmholtz, desenvolvido por um físico alemão, consiste em um enclausuramento, comunicando-se com o meio externo através de uma pequena abertura de área **S**, raio **V** e a comprimento **L**, Figura 14:



Fonte: GERGES (1992)

Figura 14 – Ressonadores de Helmholtz simples

Segundo Gerges (1992), os ressonadores são sistemas de um grau de liberdade acústico com três elementos:

- **Massa:** na abertura considera-se que o fluido move-se como elemento com massa;
- **Rigidez:** a pressão do fluido dentro da cavidade muda quando ele é alteradamente comprimido ou expandido pela excitação acústica do fluido através da abertura;
- **Resistência:** a resistência do sistema é o termo responsável pela dissipação da energia acústica. Dois mecanismos são responsáveis pela absorção acústica: a radiação acústica do cilindro de ar vibrante na abertura e o atrito viscoso entre o ar vibrante e a superfície da abertura.

Os materiais absorventes ressonadores incluem painéis com fendas e placas perfuradas. Estes materiais absorventes são normalmente usados para gama média de frequências e a absorção é de média para alta. Os sons são absorvidos por materiais porosos (Figura 15), painel ressonador com espaçamento de ar (Figura 16), providenciando uma absorção mais uniforme nas frequências.

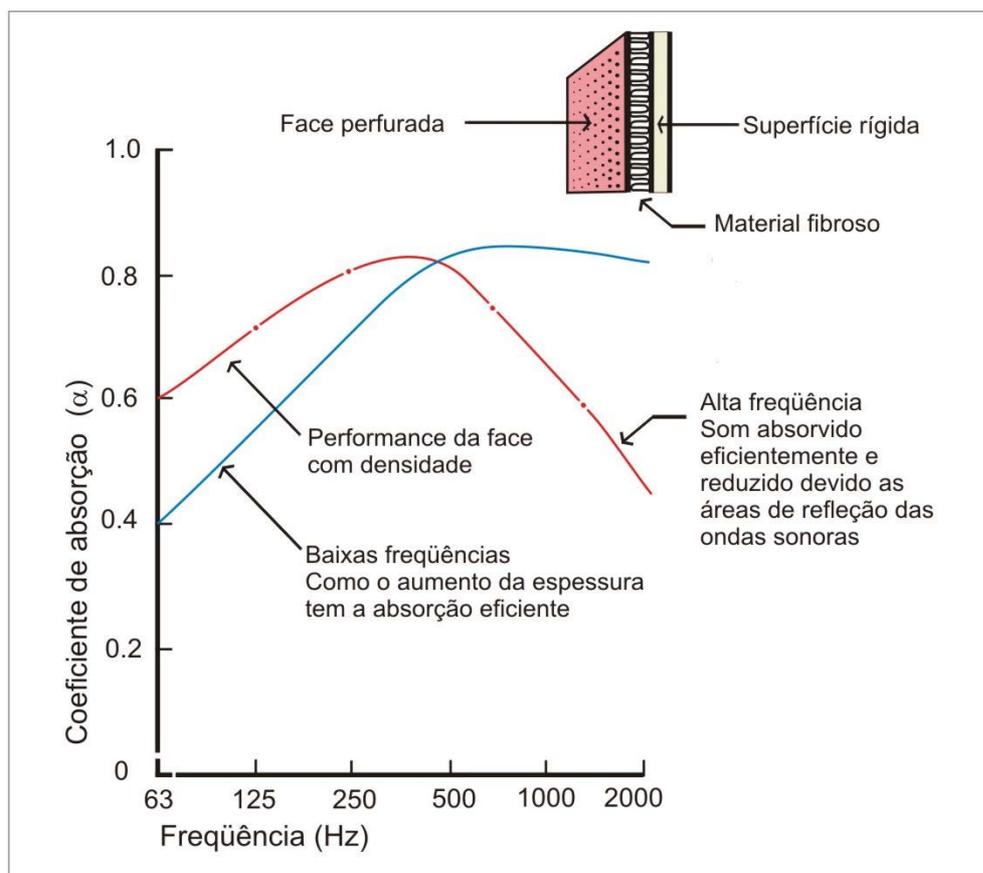
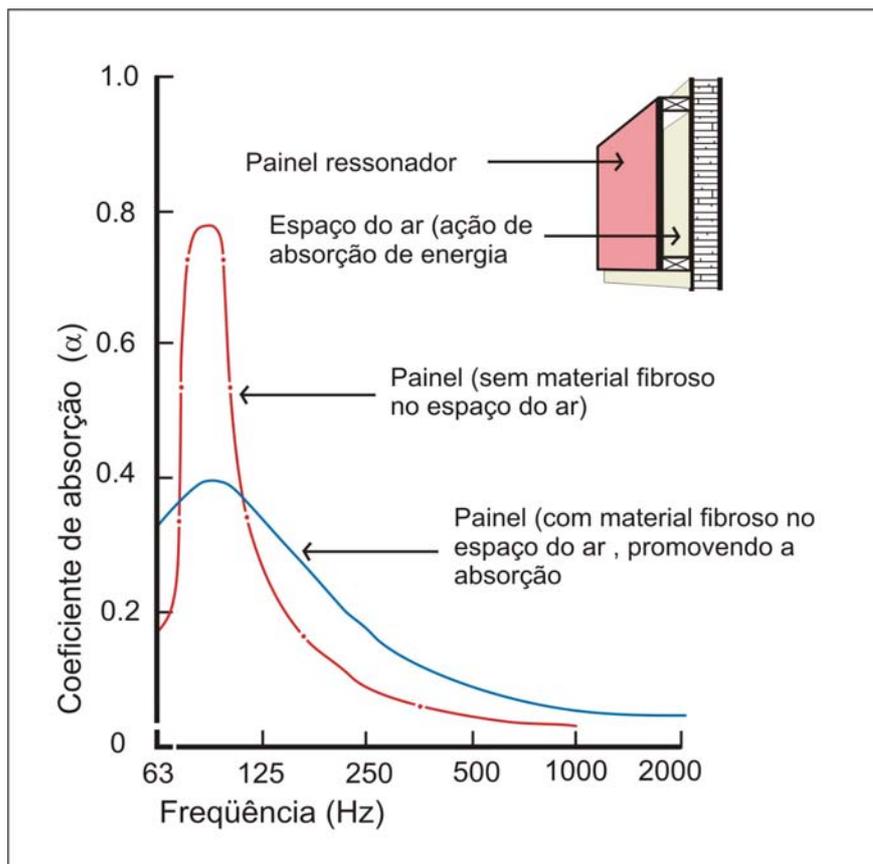


Figura 15 – Comportamento do som no ressonador com material absorvente



Fonte: EGAN (1988)

Figura 16 – Comportamento do som no ressonador com espaçamento do ar

Para a melhora de recintos fechados com condições, é preciso pensar em dois momentos da Acústica Arquitetônica: a acústica das construções, que trata da questão de tratamento acústico, como o isolamento; e a acústica de ambientes, em que o foco é o problema de absorção sonora e conforto interno acústico do local.

3.4. Legislação e normas técnicas de medição dos NPS

A regulamentação geral do ruído e a definição do teto-limite de NPS que são aceitáveis segundo as atividades exercidas são definidas por algumas instituições que especificam os limites.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), dentre as resoluções que enfocam o ruído (Resolução nº 001 de 08 de março de 1990), estabelece que a emissão de sons e ruídos em decorrência de qualquer atividade industrial, comercial, social e recreativa, inclusive as de propagandas, deverá obedecer, no que diz respeito ao interesse da saúde, segurança e sossego público, aos padrões no ambiente exterior do recinto, ou seja, o som produzido no interior do edifício não pode interferir no cotidiano externo.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, por intermédio da NBR 10.151, fixa as condições exigíveis da aceitabilidade do ruído em comunidades, especifica o método para a medição deste, a aplicação de correções nos níveis medidos e uma comparação dos níveis corrigidos, com critério que leva em conta vários fatores ambientais. A NBR 10.152 estabelece os níveis de ruído para conforto acústico em ambientes diversos (ABNT, 1987).

A Organização Mundial de Saúde – OMS estabelece 55dB como nível máximo de ruído para atividades que necessitem de concentração, e define que acima de 75dB começa a ocorrer o desconforto acústico, ou seja, para qualquer situação ou atividade, o ruído passa a ser um agente de incômodo. Nessas condições, há a perda da inteligibilidade da linguagem, prejudicando a conversação, passando a ocorrer distrações, irritabilidade e diminuição da produtividade no trabalho.

Porém, há diferenças nesses limites entre algumas normas que regulamentam a exposição ao ruído, como a Norma Regulamentadora – NR-17, que define que 65dB é o máximo nível de ruído para atividades que exigem concentração. Em comum acordo está determinado que, acima de 80dB, as pessoas mais sensíveis podem sofrer perda auditiva.

A norma a Norma Regulamentadora – NR-15 da Portaria 3.214/78 do Ministério do Trabalho e a NHO-1 (FUNDACENTRO, 2001) utilizam o critério segundo o qual um indivíduo exposto ao ruído diariamente em sua jornada de trabalho de 8 horas não deve ultrapassar o NPS de 85dB; porém, a diferenciação entre as normas está no tempo de exposição em relação ao nível de ruído, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros de tempo de exposição aos NPS

Nível de ruído (dB)	Máxima exposição diária permissível (NR -15)	Máxima exposição diária permissível (NHO-1)
85	8h	8h
90	4h	2h52min
95	2h	47,62min
100	45min	9,44min
105	30min	4,72min
110	15min	1,48min
115	7min	0,46min

Fonte: Adaptação de NR-15 e NHO-1

Os critérios estabelecidos pela legislação não são os mesmos devido à adoção de incrementos de duplicação distintos. A NR-15 baseia-se no aumento de 5dB na sua intensidade, fazendo com que para cada aumento do nível do ruído haja uma redução, em

média, de 100% do tempo de exposição, tendo um valor de incremento de $q = 5\text{dB}$. Já a NHO-1 toma por base normas internacionais como ANSI, adotando, para um aumento de 3dB , o valor de incremento de $q = 3\text{dB}$, ocasionando uma redução pela metade do tempo de exposição.

A NHO-01 faz parte da Série de Normas de Higiene Ocupacional elaborada por técnicos da Coordenação de Higiene do Trabalho da FUNDACENTRO, por meio do Projeto Difusão de Informações em Higiene do Trabalho, 1997/1998. Estabelece parâmetros diferentes do limite de exposição ao ruído devido à utilização do valor de incremento diferenciado do valor da NR-15, conforme ficou registrado na Tabela 1. Os procedimentos de medição empregados procuraram seguir tal norma, e os critérios aplicados foram os da NR15, conforme referencia as NR 07 e 09.

A NR-7, Portaria 3.214, de 1978, estabeleceu a obrigatoriedade de audiometria para todos os trabalhadores expostos a valores acima de 85dBA – para 8 horas de trabalho, segundo a NR-15. Em 1994, foi complementada pela Portaria nº 19 (de 9 de abril de 1998) e sofreu alteração, passando a denominar-se Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional – PCMSO e, no mesmo ano, a NR-9 Portaria nº 25 cria o Programa de Prevenção de Riscos Ambientais – PPRA, parte integrante do conjunto mais amplo das iniciativas da empresa no campo da preservação da saúde e da integridade dos trabalhadores, sendo os riscos ocupacionais classificados em risco químico, risco biológico, risco ergonômico, risco de acidentes e risco físico. Este último agrega itens como ruído, vibrações, radiações, temperaturas extremas, pressões anormais e umidade (BRASIL, 1998).

A Resolução CONAMA nº 2 institui em caráter nacional o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora – Silêncio (Resolução CONAMA, 1990).

Machado (2007) caracteriza a indústria como fonte poluidora do meio ambiente artificial quando o ruído projeta-se para além do âmbito interno do estabelecimento, causando ruídos ambientais contínuos, vindo a atingir a vizinhança bem como os próprios trabalhadores.

Sendo as indústrias uma das fontes causadoras de poluição sonora com maior índice de ruídos, a Lei nº 6.803/80 procurou dividir as áreas em: zona de uso estritamente industrial, predominantemente industrial e de uso diversificado. Além disso, preceituou-se que o ruído causado pelas indústrias é vetor determinante da alocação do estabelecimento a uma zona adequada.

A poluição sonora enquadra-se como crime ambiental, com base no disposto do artigo 54 da Lei de Crimes Ambientais. Para tanto, é necessário que a poluição ocorra em

tais níveis que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana ou que provoque a mortandade de animais. A grande inovação da Lei de Crimes Ambientais, no que diz respeito à poluição sonora, está na pena prevista para os agentes poluidores (pessoa física ou jurídica), resultando assim em reclusão de um a quatro anos, e multa. (REGAZZI et al, 2004).

A certificação ambiental é uma ferramenta que complementa o processo de qualificação do ambiente, já que para a conquista desta certificação é preciso atender à série de normas da International Organization for Standardization – ISO 14000, que estabelece diretrizes de gestão ambiental dentro de empresas. Dentre o montante de procedimentos agregados a essa norma está a questão de realização de auditorias, declarações ambientais, avaliação da performance ambiental, análise de ciclo de vida, integração dos aspectos ambientais (conceito de *ecodesing*), comunicação ambiental, (DO VALLE, 2002).

3.4.1. Como avaliar a exposição (dosimetria)

A avaliação da exposição ao ruído através da dosimetria permite um diagnóstico mais preciso sobre as reais condições do trabalho, pois considera a real exposição ao ruído a que um determinado funcionário está submetido durante a jornada de trabalho.

Segundo a NHO-01 (FUNDACENTRO, 2001), dose é o parâmetro utilizado para a caracterização da exposição ocupacional ao ruído, expresso em porcentagem de energia sonora, tendo por referência o valor máximo da energia sonora diária.

Por definição, segundo Santos et al (1994), a dose de ruídos está relacionada diretamente com o tempo de exposição do indivíduo, sendo a jornada diária de 8h de trabalho a referência do tempo máximo para a definição dos limites de tolerância, considerado para definição destes limites dados apresentados conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Tempo de exposição segundo os NPS:

Nível equivalente (NR-15)	Nível equivalente (NHO-1)	Tempo de exposição diária máxima
85dB	85dB	8h
90dB	88dB	4h
95dB	91dB	2h
100dB	94dB	1h
105dB	97dB	30min
110dB	100dB	15min

Fonte: Adaptação de NR-15, 1990 e NHO-1 (2001)

Para a medição técnica, segundo a NHO-01 (FUNDACENTRO, 2001), a dose deve adotar o incremento de duplicação, das normas internacionais como ANSI, como fator de correção ou mudança $q = 3$, estabelecendo o seguinte:

- Situação do medidor – integridade eletromecânica, carga suficiente das baterias e calibração segundo o método estabelecido pelo fabricante;
- Ajustes para medição – o dosímetro deve ser ajustado para operar na curva de compensação “A” com resposta lenta, taxa de dobra do risco de 3dB e critério de 85dB para 8 horas.
- Posição do medidor – colocado na pessoa com função representativa do grupo de trabalhadores que será avaliado, com o microfone deste posicionado a $150\text{mm} \pm 50\text{mm}$ do ouvido. O direcionamento do microfone deve ser voltado para o principal campo acústico. Em geral ele é colocado na lapela voltado para cima e para frente, livre de obstáculos, como partes de roupas e/ou EPI;
- Período de amostragem – se a atividade apresenta diferentes ciclos que não se repetem ao longo da jornada, a dosimetria deve cobrir toda a jornada. Se os ciclos são bastante repetitivos, o tempo de dosimetria pode ser reduzido à metade da jornada de trabalho e a dose final pode ser calculada pela fórmula do Nível Equivalente (Neq), que representa o nível contínuo equivalente em dB, que tem o mesmo potencial de lesão auditiva que o nível variável considerado.

$$\text{Neq} = 80 + 16,61 \cdot \log(0,16 \cdot \text{CD}/\text{TM}) \quad (6)$$

Onde:

CD = contagem da dose

TM = tempo de amostragem

Sempre que houver dúvidas, a dosimetria deve cobrir toda a jornada;

- Registros – toda anormalidade ocorrida durante a amostragem deve ser registrada – parada do processo, descarga de vapor anormal, quebra de equipamentos, saída para outros ambientes (restaurante, administração, etc.).

Assim, deve ser criado um banco de dados no qual serão armazenados os relatórios produzidos pelo medidor, resultando numa representação gráfica da dose diária a que o trabalhador está exposto, perfazendo minuto a minuto a tomada de NPSs emitidos pela fonte, que auxilia na identificação das características sonoras do ambiente.

Se a dose diária estiver entre 50% e 100%, a exposição devem ser consideradas acima do nível de ação, havendo necessidade de serem adotadas medidas preventivas de

forma a minimizar a probabilidade de que a exposição ao ruído cause prejuízos à audição do trabalhador, evitando que o limite de exposição seja ultrapassado, como estabelece a Tabela 3.

Tabela 3 – Critério de julgamento para a tomada de decisão, segundo a dose diária:

Dose diária (%)	NPS (dB)	Consideração técnica	Atuação recomendada
0 a 50	Até 82	Aceitável	No mínimo manutenção da condição existente
50 a 80	82 a 84	Acima do nível de ação	Adoção de medidas preventivas
80 a 100	84 a 85	Região de incerteza	Adoção de medidas preventivas e corretivas visando à redução da dose diária
Acima de 100	> 85	Acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas

Fonte: Adaptação de NR-15 (1990) e NHO-1 (2001)

Para a atuação das ações recomendadas segundo a dose diária, é preciso ter em foco os parâmetros adotados dentro das necessidades de conversação e concentração para a realização da atividade fabril, levando-se em consideração que a exposição ao ruído é danosa mesmo com o controle. Cabe dizer que é de comum acordo entre as leis que regem a exposição diária do trabalhador ao ruído, a proximidade dos níveis limites de NPS; porém, uma questão deve ser repensada: a jornada de trabalho nas atividades que envolvam o ruído como agente contínuo na rotina do indivíduo.

Associado à aplicabilidade das leis e normas que limitam a exposição ao ruído, pode ser adotada uma ferramenta que possibilita criar um diagnóstico mais eficaz da realidade do ambiente de estudo, a Avaliação Pós Ocupação – APO, que caracteriza o espaço físico e indica a compatibilidade ou a inadequação da utilização dos materiais construtivos.

3.5. Avaliação Pós-Ocupação – APO aplicada em indústrias

O estudo utilizou o conceito de APO para diagnosticar aspectos positivos e negativos do ambiente construído, a partir da avaliação de fatores técnico-construtivos e funcionais, tendo como ponto de vista o projeto e os usuários, através de conversas durante as visitas. Esse conceito teve início de aplicabilidade no final dos anos 1940, nos Estados Unidos e Europa, surgindo para a avaliação de conjuntos habitacionais construídos no pós-guerra. No Brasil, a defasagem foi de 30 anos, e as pesquisas priorizaram a avaliação de edifícios escolares.

A visão sistêmica do processo de projeção de um edifício é incompleta, já que o fator econômico é o principal referencial. Questões importantes para qualificação do espaço, como o conforto ambiental, características regionais e climáticas são desconsideradas, gerando um déficit de uso após a conclusão do edifício, necessitando de uma APO para a aquisição da qualidade global do ambiente no decorrer de sua vida útil.

No final da década de 1940, dois psicólogos, Roger Barker e Herbert Wright, foram os iniciantes neste campo de investigação, buscando entender a relação dos usuários com o ambiente construído. Tiveram também importância neste desenvolvimento o antropólogo Edward Hall, os arquitetos Kevin Lynch e Christopher Alexander, que fizeram uso das informações adquiridas durante a investigação para criar uma maneira de intervir, adequar as deficiências do edifício e ainda direcionar as futuras decisões projetuais em novos edifícios (ORNSTEIN & ROMERO,1992).

Vischer (2002) explica que há várias definições de APO, e que nos últimos 20 anos estas avançaram desde que o termo foi inventado. Significa que todas as atividades que se originarem com a construção de um edifício, incluindo as expectativas dos usuários, construindo parâmetros de satisfação com o ambiente que foi criado. APO é um mecanismo para ligar o gabarito (os andares, os ambientes) em edifícios recentemente construídos com o projeto e a tomada de decisão; o objetivo é fazer melhorias no projeto, na construção e na entrega do edifício ao usuário.

Para Preiser, Rabinowitz & White (1988), a APO já consolidada e que realmente interessa para o ramo produtivo tem em vista três aspectos gerais para garantir o pleno funcionamento do edifício e manifestar a conquista da produtividade:

- Benefícios à organização do usuário através das decisões melhoradas do projeto e dos edifícios resultantes da qualidade melhor;
- Benefícios humanos em relação aos problemas que são obstáculos da eficácia e apreciação dos trabalhadores;
- Benefícios profissionais através do projeto mais bem informado sobre as características do edifício.

Segundo Ornstein & Romero (1992), devem ser observadas as variáveis relacionadas às questões construtivas, funcionais, econômicas, estético-simbólicas, comportamental-psicológicas e estrutural-organizacionais.

No Brasil, a evolução das pesquisas de APO desenvolveu-se de maneira integrada e envolveu profissionais de diferentes áreas, criando um dinamismo global de investigação do ambiente construído, atuando ainda como instrumento de diagnóstico para intervenções em

áreas específicas, como por exemplo, o conforto ambiental ou ainda mais pontual o conforto acústico, para que se pudessem ter as reais condições do comportamento do ambiente diante da sua utilidade funcional.

Para se desenvolver a avaliação do ambiente construído é preciso levar em conta o desempenho, que quantifica o comportamento do edifício em uso; a idade-limite, que se refere ao tempo que o edifício atende às necessidades dos usuários; e a necessidade dos usuários, que objetiva garantir a satisfação de suas necessidades no tocante ao conforto ambiental e adaptação do uso.

Dentre as variáveis da questão construtiva, o conforto ambiental, um dos pontos a serem observados para garantir a satisfação dos usuários pode se focalizar no desenvolvimento de recomendações mais específicas, como para o conforto acústico, mas mantendo definições de diretrizes para os outros itens do conforto ambiental.

O conforto ambiental interage com o ambiente construído e modifica o comportamento dos usuários, influenciando nas relações pessoais, no modo de execução das atividades e até mesmo na vida do indivíduo fora da rotina de trabalho.

Mas, para poder aplicar a APO em um ambiente construído, é preciso estabelecer as técnicas que serão utilizadas durante a investigação do ambiente. Existem três níveis de explanação desta ferramenta, que foram descritas por Bechtel (1967), como a APO indicativa, a APO investigativa e a APO diagnóstica.

APO indicativa: caracterizada pela indicação das principais questões positivas e negativas do desempenho do edifício, sendo executada em poucas horas ou em alguns dias. Através da avaliação de arquivos e documentos, conversas com os funcionários e a avaliação do ambiente com observações, contando com a experiência do investigador em relação ao ambiente em questão.

APO investigativa: aplicada com a intenção de complementar as informações extraídas da APO indicativa, cobrindo as questões com maior profundidade. Apóia-se na utilização de critérios objetivos e explicitamente definidos e requer um número maior de horas para a investigação.

APO diagnóstica: elaborada: através de estratégias de múltiplos métodos para a avaliação. Estende-se por maior tempo de trabalho, por vários meses ou até mesmo anos, criando orientações a longo prazo, podendo ainda acrescentar conhecimento do estudo, desenvolvimento de projeto, tecnologia e literatura.

Faccin (2001) considera que, embora as APOs sejam limitadas em abrangências devido ao universo de tópicos que poderiam ser incluídos ao se estudar um determinado

ambiente, alguns tópicos são fundamentais, tais como: elementos que se referem ao local do objeto avaliado (infra-estrutura, terreno, entorno, uso e ocupação); elementos de projeto (imagem, estética, tipologia); aspectos de projeto de interiores (arranjo físico, personalização, dimensionamento, mobiliários, cores, fluxograma e iluminação).

Além dessas questões descritas, é importante ressaltar que a opinião dos usuários sobre os ambientes, a análise das condições do conforto ambiental e os tipos de materiais construtivos observados na construção do prédio ajudam a obter um resultado para a construção da real situação do edifício e a estruturar as alterações para a aquisição de melhorias ambientais.

A APO ajuda nas comunicações entre partes interessadas na construção de um edifício, tais como desenhistas, clientes, usuários, e outros profissionais, criando mecanismos para monitorar a qualidade, em que os responsáveis pelas decisões são notificados quando um edifício não alcança um dado padrão, além de acelerar a aprendizagem organizacional, permitindo que os responsáveis pelas decisões construam com sucesso e não repitam falhas anteriormente identificadas (ZIMRING, 2002).

Para o estudo em questão, será aplicada a APO no edifício industrial, baseando-se em princípios de Avaliação de Desempenho e Controle da Qualidade Ambiental – ADCQA, que visa, entre alguns pontos, à avaliação dos impactos ambientais causados pela atividade exercida dentro do edifício, buscando também contemplar os aspectos sociais e econômicos relacionados à produção, operação e modificação do ambiente construído.

Os resultados de APOs estão direcionados aos aspectos peculiares do ambiente que fazem a apresentação de uma forma ampla, ajudando a caracterizar o edifício e apontar as necessidades de intervenções para a conquista de uma melhor qualidade de vida ambiental dos edifícios industriais.

3.5.1. Indicativas de aplicação de APO

No método de APO não há uma regulamentação, norma sobre a utilização do método; porém, há o estudo desenvolvido por Bechtel (1990), que define e orienta as etapas que caracteriza o processo:

OBSERVAÇÃO DIRETA: realizada através de visitas exploratórias. O observador não deve fazer parte da dinâmica do ambiente, apenas relatar os acontecimentos, enumerando as possíveis ações para caracterizar, quantificar e qualificar os parâmetros do conforto acústico no edifício industrial.

OBSERVAÇÃO DOS USUÁRIOS: feita através de conversações diante da realização das atividades laborais, com a condução aberta para a obtenção das falas a fim de obter informações através de um roteiro que identifica as questões que devem ser abordadas.

REGISTRO FOTOGRÁFICO: fotografias registradas para demonstrar aspectos relativos à caracterização da utilização dos materiais construtivos e como se interagem no edifício, auxiliando na elaboração do Cálculo de Reverberação, para identificar e quantificar as superfícies expostas ao ruído.

MEDIÇÕES TÉCNICAS: utilizando instrumentos de precisão, pode-se realizar a avaliação específica e detalhada do ambiente. Medições de parâmetros do conforto acústico, como o nível de pressão sonora, dosimetria e tempo de reverberação, são maneiras de registrar o comportamento acústico do edifício e comparar com a percepção dos usuários.

LISTA DE ADJETIVOS: método utilizado na realização de conversações abertas com os usuários, para que as repostas destes possam ser comparadas com uma listagem de aspectos positivos e negativos, obtidos através das observações diretas.

Através de visitas exploratórias ao ambiente em questão, conversas com os usuários, pode-se reconhecer e elencar os aspectos construtivos, funcionais e de conforto acústico, partindo da percepção destes e das observações durante o período de coleta de informações para a construção do cenário de estudo.

Dentro destas etapas de caracterização e da aplicação de APO indicativa, conquista-se um reforço para a dinâmica proposta, já que esta ferramenta foi usada para complementar o diagnóstico do objeto de estudo, buscando fazer uso de APO na sua mais plena intenção: identificar a realidade da relação entre homem e ambiente, já que o ambiente construído tem de satisfazer as solicitações de desempenho apropriado e ao bem-estar do usuário.

Para Vischer (2002), no contexto atual de testes-padrão de trabalhos novos, da mudança de tecnologia à aproximação do planejamento e da estratégica ao espaço de trabalho, encontra-se o papel em potencial do uso de APO guiando as tomadas de decisões com mais informações sobre o ambiente industrial.

3.5.2. APO na indústria

O ambiente industrial, por toda sua diversidade, dinamismo e importância econômica, necessita de atenção por parte da administração, dos usuários e dos profissionais responsáveis pelo projeto arquitetônico quanto às variáveis ambientais, dentre

as quais a questão acústica e funcional para garantir a manutenção e adequação sobre as instalações do edifício.

Para Kowaltowski (2006), as constatações de falhas nas construções são freqüentes, especialmente no que diz respeito ao ajuste da função e à forma. O grande desafio nas pesquisas em arquitetura tem sido, nos últimos anos, a introdução sistemática de conhecimento de fatores comportamentais no processo criativo. Estabelecer regras com profundo conteúdo humanista e científico dentro de uma metodologia de projeto demonstra importante contribuição ao enriquecimento conceitual deste processo.

A revisão bibliográfica de estudos de APO no ambiente industrial revela que ainda não há questões concretas sobre a maneira de aplicabilidade, devido à diversidade de funções e as problemáticas de um edifício fabril; porém, os métodos e os parâmetros já estabelecidos orientam na condução investigativa.

Portanto, a importância e viabilidade se justificam na aplicabilidade das etapas e nas possibilidades de aplicação tanto em escolas quanto em unidades habitacionais e industriais, criando uma linha para o estudo do ambiente industrial, uma vez que o aparato da legislação define a necessidade da limitação de emissão de ruído e a melhora do conforto acústico dentro de um ambiente industrial.

Segundo Ornstein, Bruna & Romero (1995), a avaliação de um edifício já em uso ocupa-se da mensuração de elementos técnicos e funcionais do edifício, além de elementos relativos ao comportamento e satisfação do homem.

Voordt (2004) identificou uma escala dos alvos que são buscados geralmente na aplicação da metodologia de APO em um edifício industrial:

- Eficácia aumentada (produtividade);
- Atenuação e eliminação das problemáticas ambientais;
- Maior satisfação do empregado;
- Imagem positiva como uma organização profissional moderna.

Para Mello (2007), a qualidade de vida tem um cunho holístico por focar o ser humano em todas as suas dimensões, quais sejam, mental, social, física, emocional e espiritual. Nas empresas, a qualidade de vida tem sido um dos objetivos maiores da gestão estratégica de pessoas, por via de ações de melhoria do ambiente e condições de trabalho.

A relação de aplicação de APO passa pela questão estrutural e física do edifício industrial, ressaltando as melhorias necessárias para as condições construtivas e para a adequação das atividades executadas dentro do prédio.

Uma questão de ordem mais prática que também incentiva a aplicação de APO nas indústrias é a sobrevivência no mercado altamente competitivo e exigente, criado principalmente pelo processo de globalização, em que as empresas passaram a ter de oferecer produtos com menor custo e com maior capacidade de atender às exigências dos seus clientes.

Essa ordem de acréscimo de produtividade está relacionada com questões da estrutura funcional da empresa; embora não impliquem diretamente investimentos na melhoria das condições de trabalho, há uma preocupação em atender às normas da ISO para que haja a certificação da empresa, sendo assim um incentivo para busca de qualidade de vida dos funcionários. Dessa forma, a exigência do mercado é regulamentada por legislações em que o comprimento garante a qualificação da produção da empresa.

Resende, Melhado & Medeiros (2002) afirmam que, com a evolução do conceito de qualidade, as empresas do setor da construção civil (na construção do edifício) passaram a adotar uma postura mais ativa em relação a essa questão, na qual a visão corretiva cedeu espaço para uma visão com o foco no cliente e enfoque no processo como um todo, o que determina a necessidade de um indicador da política da qualidade adotada pelas empresas, tanto de ordem interna como em relação ao mercado.

Essa mudança de postura dos profissionais da área da construção civil caracteriza a intencionalidade e a necessidade de uma postura muito mais crítica diante das tomadas de decisões da execução e a definição do espaço físico, para o ganho de qualidade de vida no trabalho.

Para Kooymans & Haylock (2007), o melhoramento das acomodações após a execução de uma APO em um ambiente de trabalho garante a satisfação da equipe de trabalhadores, obtendo-se o retorno através da produtividade, no setor de fabricação dos produtos, melhora no atendimento ao cliente e um retorno subjetivo da empresa em função do trabalho prestado.

A APO é uma ferramenta que pode realizar a medição da eficiência e a funcionalidade do edifício para a atividade exercida e para os ocupantes dentro da dinâmica da mudança do gerenciamento do espaço físico quanto à operacionalidade e ao conforto dos ocupantes do edifício.

4. MATERIAS E MÉTODOS

4.1. Projeto do Fundo de Apoio à Extensão – FAE

O material de partida para a produção deste trabalho foi o resgate dos métodos desenvolvidos no projeto FAE, pois o objetivo do projeto era de diagnosticar os problemas acústicos do ambiente fabril. Dessa forma, a adoção de resgate dos métodos foi para analisar a representatividade dos resultados obtidos segundo a Avaliação Pós-Ocupação.

Os métodos e os resultados obtidos no projeto FAE foram assim reorganizados:

a) Levantamento dos aspectos físicos: desenvolveu-se através de registro fotográfico, medições *in loco*, quantificação da área ocupada por material, relato sobre os aspectos físicos da linha de produção.

- Composição externa:

O edifício apresenta caracterização diversificada de materiais construtivos. A parte frontal do edifício industrial é construída em placas de fibro cimento (calhetão) e as vedações de fundo e as laterais são de alvenaria de concreto e ainda complementadas com placas de zinco, segundo a Figura 17.

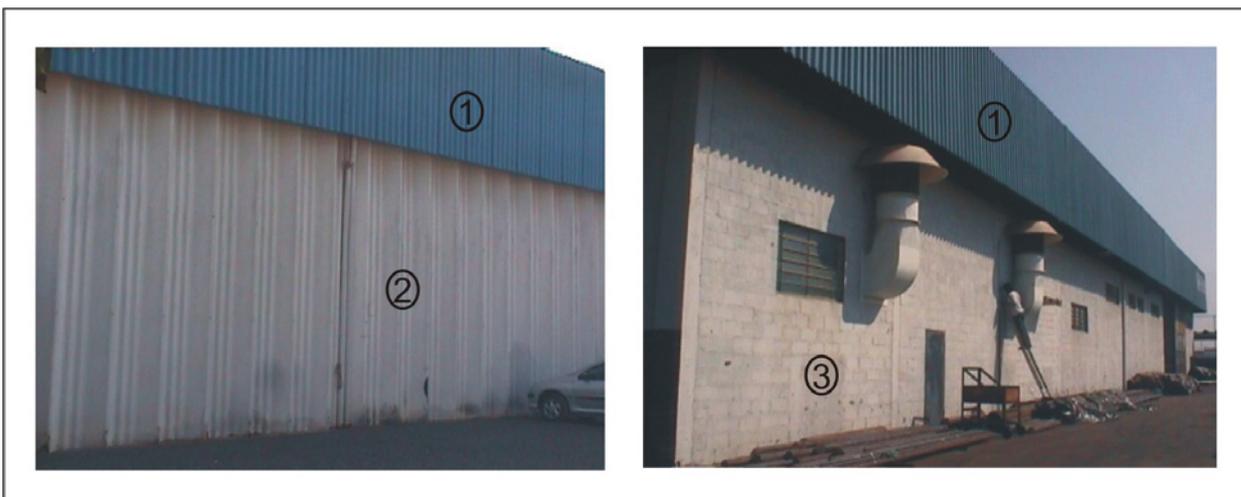


Figura 17 – Placas de fibro cimento (calhetão) e alvenaria de concreto

Detalhamento dos materiais:

1 → Folhas de zinco

2 → Placas de fibro cimento

3 → Parede de alvenaria (bloco de concreto)

- Composição interna:

A composição interna do edifício industrial não difere das características externas quanto ao coeficiente de absorção por ter o metal como material predominante, tanto na estrutura do prédio como na cobertura e em todo o maquinário da produção, conforme Figuras 18 e 19.



Figura 18 – Estruturas metálicas e cobertura com telhas de zinco e policarbonato

Detalhamento dos materiais:

1 → Folhas de zinco

4 → Telhas de policarbonato

3 → Parede de alvenaria (bloco de concreto)

5 → Estrutura metálica



Figura 19 – Organização do espaço interno

Detalhamento dos materiais:

1 → Folhas de zinco

3 → Parede de alvenaria (bloco de concreto)

5 → Estrutura metálica

6 → Elementos metálicos

b) Levantamento dos Níveis de Pressão Sonora – NPS: utilizou-se a metodologia de GERGES (1992) e NHO1 (FUNDACENTRO, 2001), com o decibelímetro LUTRON SL 4001, calibrado pelo aparelho LUTRON SC940; fez-se por leitura instantânea a coleta de medição nos quatro lados de cada máquina, conforme Figura 20, e realizando-se então a média logarítmica (Anexo 2).

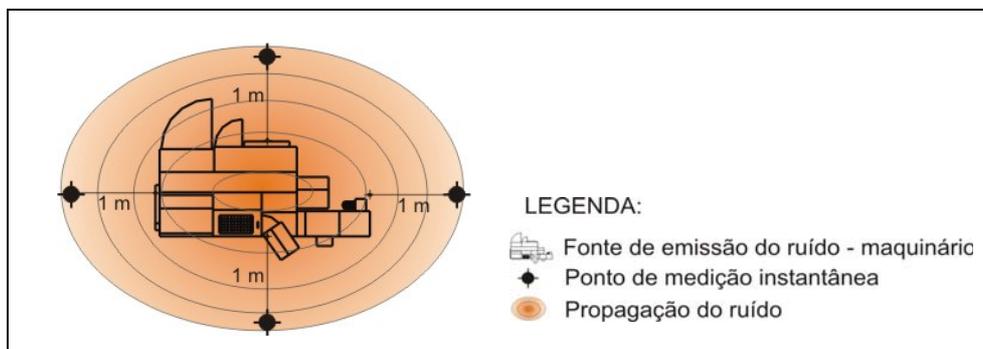


Figura 20 – Coleta de medição instantânea

Essa etapa determinou as fontes prioritárias de emissão de NPS dentro da linha de produção. Como as Faceadoras modelos Grob apresentaram NPS de 91,0dB e FXLZDI60 com NPS de 94,0dB, foram identificadas como prioritárias devido ao motor elétrico estar acoplado diretamente ao corpo metálico de vedação e comando da máquina que, ao vibrar, causa ressonância agravando ainda mais o ruído gerado inicialmente pelo motor, conforme Figura 21. Essa condição se repete em diversas máquinas dentro da linha de produção.

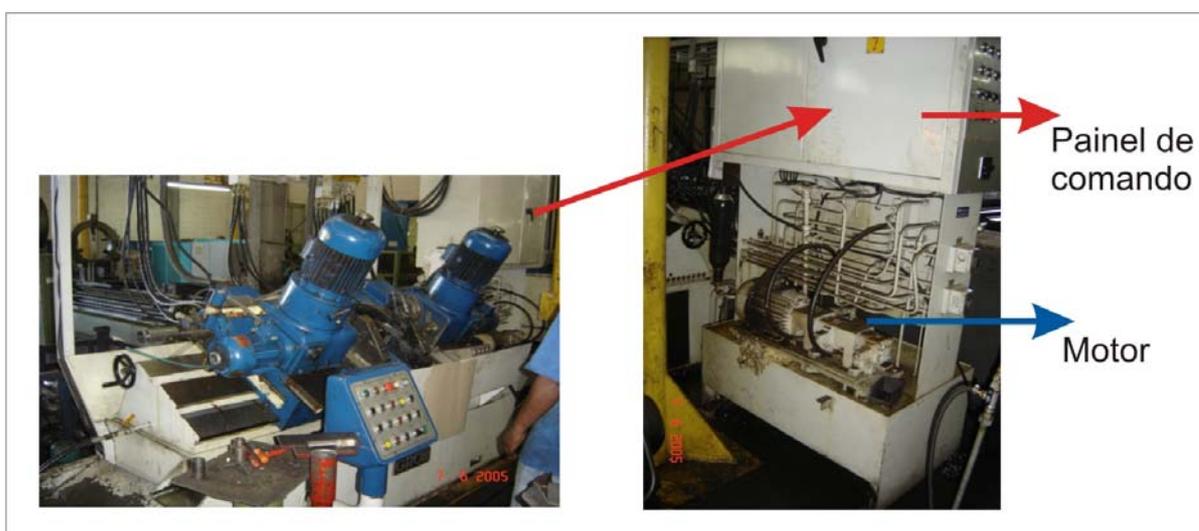


Figura 21 – Vista parcial do motor e geral do corpo metálico da faceadora

As brunidoras apresentaram NPS de 91,0dB, apesar de não terem uso diário. Quando ligadas, geram alto NPS devido principalmente ao ruído de impacto e, por ser uma máquina antiga, o conjunto vertical (Figura 22) vibra e transmite esta vibração para o piso e equipamentos adjacentes.

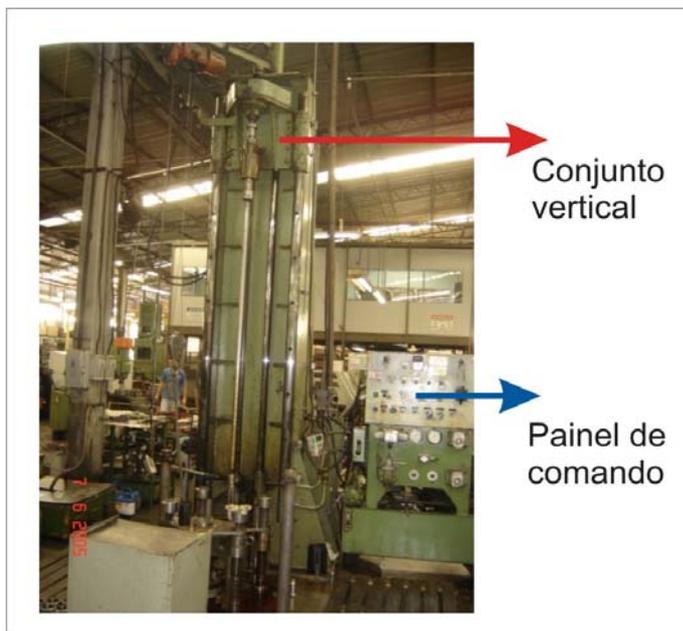


Figura 22 – Brunidoras

Os bicos de ar comprimido (Figura 23) utilizados para a limpeza dos cavacos metálicos, tanto das peças quanto dos próprios trabalhadores, têm um tempo de uso muito variável, porém requisitado diversas vezes durante a jornada de trabalho, apresentam NPS na casa dos 110dB a cada momento de utilização.



Figura 23 – Bico de ar

Após a identificação das fontes prioritárias através da medição instantânea, foi realizado o mapeamento acústico da linha de produção criando-se uma identificação gráfica e classificando-se os setores segundo uma escala de emissão de NPS de cada máquina.

c) Cálculo do Tempo de Reverberação: Levantamento dos aspectos físicos da linha de produção, tais como projeto do prédio, características construtivas, registro fotográfico, representações gráficas da configuração do prédio, aplicação da fórmula de Sabine para as frequências de 125Hz, 500Hz e 2.000Hz.

O Cálculo do Tempo de Reverberação foi elaborado para o ambiente da linha de produção da empresa nas frequências 125Hz, 500Hz e 2.000Hz. Utilizando-se os coeficientes de absorção dos materiais existentes na configuração física do prédio a partir da NBR-10152 e SILVA (1999), pode-se encontrar o Tempo Real de Reverberação – TRR através da Fórmula de Sabine, segundo Anexo 1, efetuando-se a correção para a frequência de 125Hz, também segundo recomendação da NBR-12179.

Os materiais construtivos existentes no ambiente avaliado possuem características predominantemente reflexivas ao som, como chapas e estruturas metálicas, paredes de alvenaria, telhas de zinco, entre outros. Todo o maquinário metálico e o volume do ambiente de 18.000m³ são significativos para a propagação do ruído, fazendo a diferença do ideal para o real, como pode-se observar nos resultados demonstrados na Tabela 4 entre a comparação do TR calculado e o TOR recomendado na norma NBR-10152.

Tabela 4 – Comparação entre o Cálculo do TR encontrado e o TOR recomendado

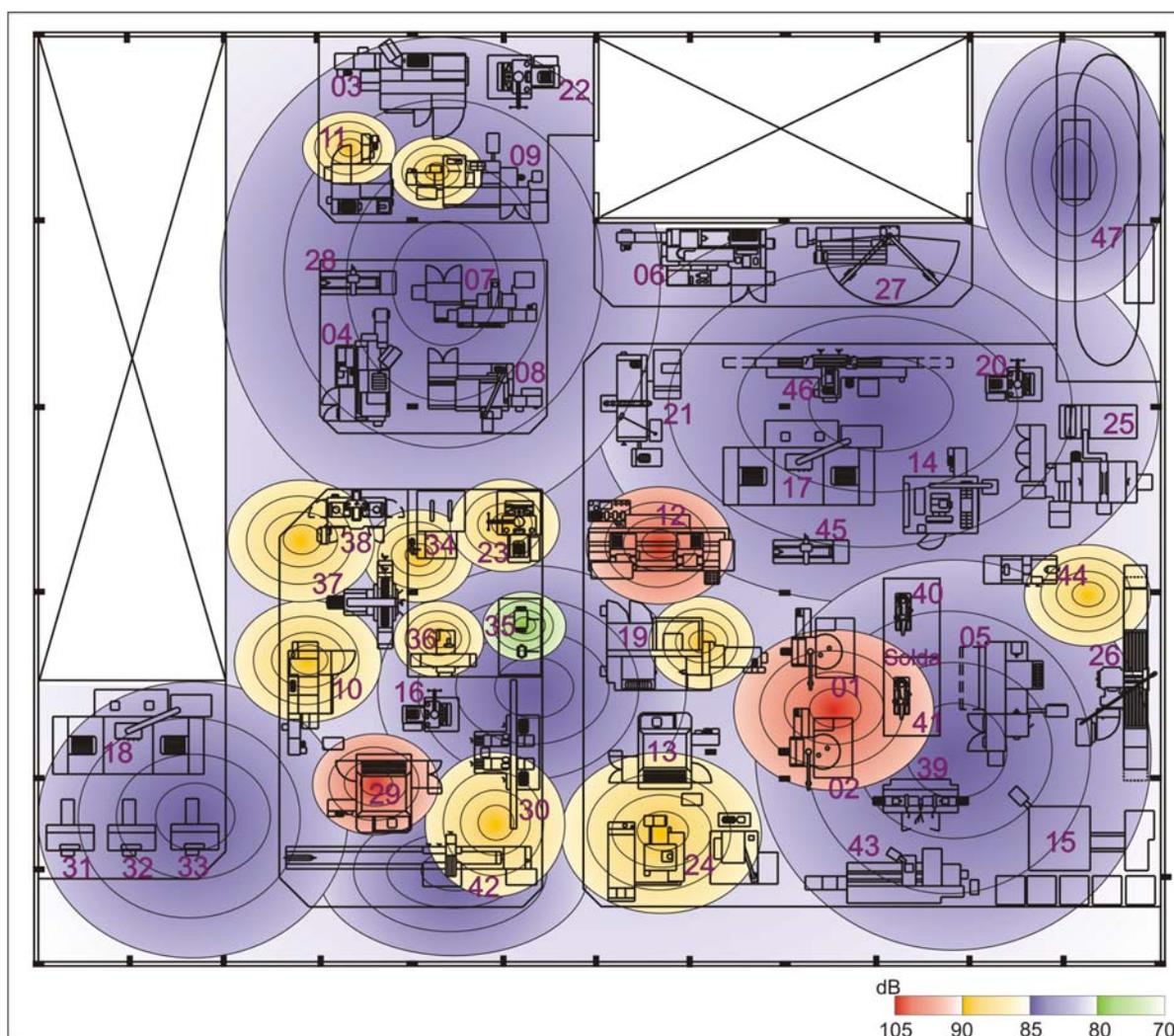
Frequências	125Hz	500Hz	2.000Hz
TR calculado (seg.)	5,77	5,72	7,61
TOR recomendado (seg.)	2,45	1,69	1,69

O resultado demonstrado aponta uma diferença bastante acentuada entre o TR encontrado e o TOR recomendado pela norma. Verificou-se a ausência de preocupação com relação à qualidade acústica do ambiente industrial, tanto no que

se refere ao projeto arquitetônico quanto à própria escolha dos elementos que compõem os ambientes ruidosos.

d) Mapeamento acústico: representação gráfica do resultado da média das medições de NPS, dentro de uma escala de dB, entre o maior e o menor NPS registrado, identificando os pontos críticos, segundo os parâmetros Norma de Higiene Ocupacional nº 1 – NHO1 (FUNDACENTRO, 2001).

Os resultados obtidos foram comparados com os parâmetros estabelecidos pela NHO1 (2001), sistematizados em planilha eletrônica e transpostos graficamente na planta do projeto da linha de produção, criando-se um mapeamento acústico que permitiu uma visualização mais clara desse tipo de problema e dos pontos críticos da linha de produção, conforme pode-se observar na Figura 24 a seguir.



Fonte: GONÇALVES, 2005

Figura 24 – Mapeamento do NPS da linha de produção

As três áreas em vermelho, correspondentes a 7% da área total da linha de produção, foram identificadas como os pontos mais críticos, tendo alcançado até 105dB. Tal problema é provocado principalmente por duas máquinas: as brunidoras e as faceadoras, as quais são operadas por funcionários durante um turno de 8 horas.

As onze áreas identificadas em amarelo, correspondentes a 20% da área total, apresentaram até 85dB. Nesse caso, o problema acústico é proveniente dos conjuntos de máquinas que compõem cada setor. A maior porcentagem da área investigada com 72,55% apresenta índices entre 70dB e 80dB e, apenas 0,45% encontra-se com limite de até 70dB.

O ruído elevado se deve às máquinas, equipamentos e ferramentas existentes na linha de produção, construídos de componentes predominantemente metálicos, gerando ruído por causa das condições que lhes são próprias, e ainda pela avançada idade de vida útil destes equipamentos.

Em associação com a medição instantânea de NPS, foi realizada a dosimetria pontual nos trabalhadores em seus postos de trabalho para precisar com mais segurança a exposição do trabalhador aos NPS dentro da linha de produção durante a jornada de trabalho.

4.1.1. Propostas de intervenção projeto FAE

Em razão dos níveis bastante elevados de NPS em alguns pontos considerados críticos em relação ao tempo excedente de exposição dos trabalhadores em sua jornada de trabalho, ratificou-se a necessidade de intervenções em duas diferentes frentes:

4.1.1.1. Intervenções nas fontes

Um aspecto observado foi a impossibilidade de isolamento das máquinas mais ruidosas devido à sua composição física e à interferência na operacionalidade da produção, o que agrava ainda mais as condições acústicas do ambiente como um todo.

Para minimizar a questão do ruído nas fontes emissoras prioritárias, sugere-se a separação dos motores elétricos do corpo metálico de vedação do painel de controle das máquinas, como as faceadoras, segundo Santos *et al* (1994), indicando a utilização de blindagem rígida e a utilização de amortecedores conforme a Figura 12, que demonstra a redução de NPS em todas as freqüências, mas com um registro maior nas freqüências agudas.

Outras máquinas que possuem características semelhantes às das faceadoras, porém com menor emissão de NPS ao ambiente, podem adotar a especificação de Santos *et al* (1994), conforme a Figura 7, somente com blindagem rígida, que criará uma atenuação nas freqüências mais graves, suprimindo a emissão das máquinas.

Nos casos em que não possa haver a separação do motor elétrico, a sugestão é a instalação de Vibra Stop, que é um mecanismo de isolamento de vibrações e deve ser instalado nas bases das máquinas.

As brunidoras, que são máquinas antigas, e têm o conjunto vertical vibrando e transmitindo vibração para o piso e equipamentos adjacentes, uma possível intervenção é segregar o piso metálico das brunidoras, instalando o Vibra Stop.

Outras medidas que podem atenuar o ruído interno do edifício industrial quanto às fontes emissoras, por exemplo, é a troca das rodas metálicas dos carrinhos de transporte de peças para rodas emborrachadas, assim como a forração de seu interior com material emborrachado (Figura 25).



Figura 25 – Carrinho de transporte

Para a questão do bico de ar que acompanha algumas máquinas como centro de usinagem, tornos, faceadoras, fresadoras e furadeiras, que liberam um ruído alto e são muito utilizados durante todo o período de trabalho para a limpeza da própria máquina e de peças, sugere-se a modificação para dos bocais, para o menos ruidoso como os apresentados por Gerges (1992), conforme Figuras 9 e 10. Dentre esses bocais apresentados, o que possui as melhores características de ser o mais silencioso é o de múltiplos orifícios, pois, além de ser qualificado tanto para ejeção quanto para limpeza de peças, apresenta a maior vazão mássica do que os outros bocais e possui um baixo nível de pressão sonora.

4.1.1.2. Intervenção no trajeto e nas mudanças na estrutura

Para as melhorias do ambiente da linha de produção, do ponto de vista do conforto ambiental, buscaram-se sugestões diretamente ligadas ao comportamento do ambiente perante a atividade desenvolvida, objetivando o controle do ruído, ou seja, a diminuição da intensidade das freqüências aleatórias.

A grande diferenciação entre o TRR e o TOR evidencia a necessidade do tratamento acústico no ambiente, na busca da maior proximidade possível dos níveis definidos pela norma NBR-10152.

Como a reorganização do espaço físico da empresa requer uma atenção, devido à utilização de matérias pouco absorvente, a intenção é criar uma definição do que pode ser feito em curto prazo e indicativo em longo prazo para o replanejamento estrutural do edifício.

Inicialmente, dentro do ambiente industrial, fazer a associação dos ressonadores e a instalação de painéis de materiais absorventes, a fim de se criar um mecanismo de atenuação do som reverberante na linha de produção.

Realizar a instalação dos ressonadores com espaçamento de ar (EGAN, 1988), a uma altura de 1,00m, partindo do nível 0,30m do piso interno, revestindo as paredes de vedação do edifício industrial, inclusive nos pilares metálicos que estruturam o edifício, criando uma atenuação em todas as freqüências, mas com maior intencionalidade nas freqüências de 500Hz e 2.000Hz, conforme Figura 26.

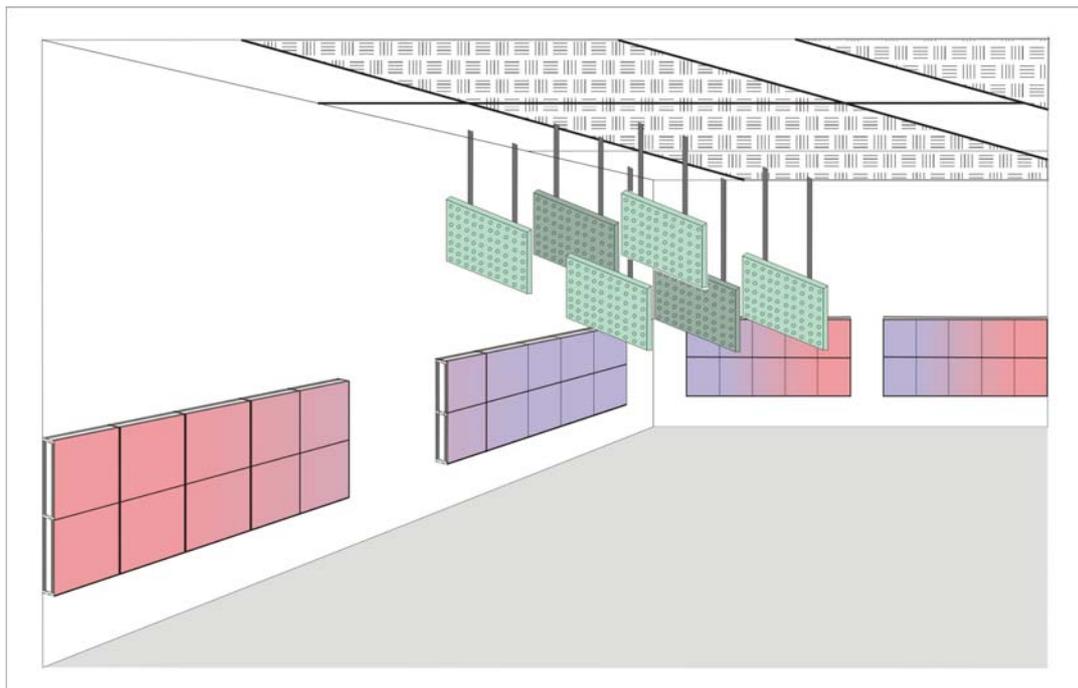


Figura 26 – Esquema dos painéis absorventes e ressonadores

A instalação de painéis absorventes na cobertura interna do edifício foi proposta para ser executada em duas formas: a primeira é a fixação na estrutura de painéis de poliuretano expandido plano, formulado na densidade 36kg/m^3 , com dimensão de $1,25\text{M} \times 0,625\text{m}$ de placa plana, na mesma orientação das placas de zinco que fazem a cobertura, totalizando uma área de $0,78\text{m}^2$ de atenuação, e a instalação de painéis de poliuretano expandido flexível esculpida, com dimensão de $1,00\text{m} \times 0,50\text{m}$ de placa esculpida, na densidade 30kg/m^3 , pendurados nos pontos críticos em alturas alternadas para a absorção da reflexão dos NPS, totalizando uma área de $0,50\text{m}^2$ segundo as frequências, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Coeficiente de absorção média nas frequências

	125Hz	500Hz	2.000Hz
Painel expandido plano	0,39	0,78	0,80
Painel expandido flexível	0,28	0,74	1,26

Fonte: Illbruck, 2005

Representou-se na Figura 26 a utilização de painéis ressonadores afixados nas paredes de vedação do edifício para complementar a atenuação do ruído, com de dimensões de $0,50\text{m} \times 0,50\text{m}$, totalizando uma área de $0,25\text{m}^2$ de atenuação.

Tabela 6 – Coeficiente de absorção média nas frequências

	125Hz	500Hz	2.000Hz
Ressonador	0,50	0,80	0,85

Fonte: Egan, 1988

A associação de elementos acústicos cria um resultado mais abrangente de atenuação tanto para as baixas, médias e altas frequências, reduzindo do alto índice de reverberação sonora no ambiente.

A determinação de implementação dos painéis absorventes afixados e pendurados na cobertura foi devida ao pé-direito, que permite a instalação sem nenhum tipo de inconveniente de atrapalhar em alguns setores que tenham um maquinário mais elevado, além do que os materiais dos ressonadores, que por indicação devem ser instalados nas paredes de vedação, são de mais fácil limpeza dentro do ambiente de produção metalúrgica.

Para se conseguir um resultado completo e mais satisfatório, recomendou-se a realização de mudanças construtivas do edifício, ou seja, a substituição dos materiais como as placas de fibro cimento, as placas de zinco e as placas de policarbonato, a fim de que sejam utilizados materiais com maiores propriedades absorventes para melhorar a qualidade ambiental.

4.2. Métodos de complementação ao diagnóstico

As atividades abaixo descritas foram instrumentos complementares ao material do projeto FAE e possibilitaram qualificar melhor o diagnóstico.

a) Dosimetria: análise da condição de exposição do trabalhador através de um dosímetro do modelo DOS-500, que integra a exposição do nível sonoro em função do tempo. O equipamento possui interface para PC, tomando por base os parâmetros da NHO1 (FUNDACENTRO, 2001);

b) APO – Indicativa ou de curto prazo: foi obtida através de visitas ao ambiente em questões abertas, buscando identificar o grau de satisfação dos usuários com o ambiente que ocupam. Foram realizadas visitas exploratórias

durante a permanência da pesquisadora através de observação dentro da linha de produção, com o propósito de identificar as características físicas, construtivas e funcionais;

c) Investigação do gerenciamento das estações de trabalho: a linha de produção de autopeças e a de cilindros hidráulicos foi observada em momentos distintos durante uma jornada completa de trabalho. Observaram-se as ações dos trabalhadores dentro do processo produtivo dentro do ambiente industrial.

d) Análise dos resultados: faz parte da definição do diagnóstico, que teve por finalidade apresentar os resultados da leitura dos dados do objeto de estudo, e possibilitou criar diretrizes de avaliação da eficácia das intervenções propostas para a atenuação e controle do ruído industrial, além de reunir argumentos que conduziram a uma melhor discussão dos critérios existentes para a determinação dos fatos e de que maneira eles foram inseridos na dinâmica do trabalho.

5. RESULTADOS

5.1. Dosimetria pontual

Para complementar os resultados obtidos acima foi aplicada, ainda, a dosimetria em três operadores dos postos de trabalho dos setores considerados críticos na medição instantânea, denominados E1, E2 e E3. Nesse caso, com o dosímetro preso junto ao operador de máquinas, a dosimetria foi contínua e teve duração de quatro horas com monitoramento constante. Devido ao pouco tempo viável para a medição, o parâmetro estabelecido no tempo de coleta de dados buscou alcançar a maior quantidade de variações da onda sonora no período de quatro horas (metade da jornada de trabalho).

O valor obtido da dose nesse período de tempo é processado pelo equipamento que apresenta o valor equivalente pela exposição em 8 horas de jornada de trabalho.

O resultado da medição foi sistematizado em programa computacional específico do equipamento, gerando um resumo de informações e apontando para a identificação de resultados que ultrapassaram o limite estipulado pela legislação, conforme pode-se observar na Tabela 7.

Tabela 7 – Parâmetros de tempo de exposição aos NPS

	E1	E2	E3
Nível de critério	85dB	85 dB	85 dB
Nível limiar de integração	80dB	80dB	80dB
Taxa diferenciação dos níveis	3dB	3dB	3dB
Nível de pico de impacto de 140dB	Não	Não	Não
Tempo de exposição da medição	04h00	04h00	04h00
Valor da dose (%)	79,92	66,62	42,83
Porcentagem dose em 8 horas (%)	83,40	82,10	79,10
Nível Equivalente (Neq) em 8horas (NPS)	88,30	86,10	83,82

Fonte: Adaptação de NR-15, 1990 e NHO-1, 2001.

O operador no posto de trabalho E1, localizado dentro do setor mais ruidoso, apresentou durante os primeiros 80 minutos resultados entre 81dB e 92,5dB, com quedas de até 68dB nos 10 minutos restantes; porém, na continuidade dos 95 minutos, totalizando 175 minutos, houve uma variação de NPS entre 92,50dB e

104dB, devido o funcionamento mais constante das brunidoras, conforme a Figura 27, que traz ainda, o $Neq=88,30\text{dB}$, o qual representa 3,30dB acima do nível limite de exposição permitida para 8h de 85dB, ou 103% da dose diária, indicando que o ruído está 3% acima do limite definido pela NHO1.

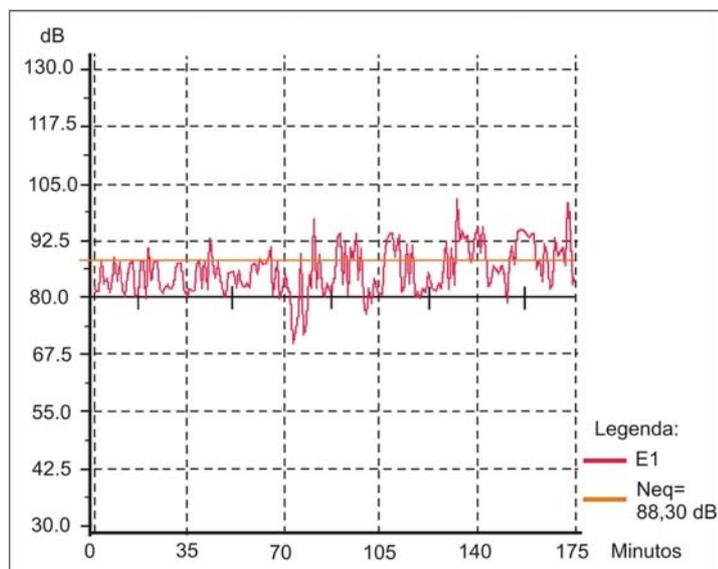


Figura 27 – Variação dos NPS para o operador no posto de trabalho E1 durante 4 horas

Há três metros do setor mais ruidoso, a dosimetria do operador do posto de trabalho E2 apresentou uma média de NPS de 84dB, com três picos acima de 92,5dB, com primeiro intervalo de 20 minutos e segundo intervalo de 75 minutos, conforme a Figura 28, que traz ainda o $Neq=86,10\text{dB}$, que representa 1,10dB acima do nível limite de exposição em 8h de 85dB, ou 101% da dose diária, indicando que o ruído está 1% acima do limite definido pela NHO1.

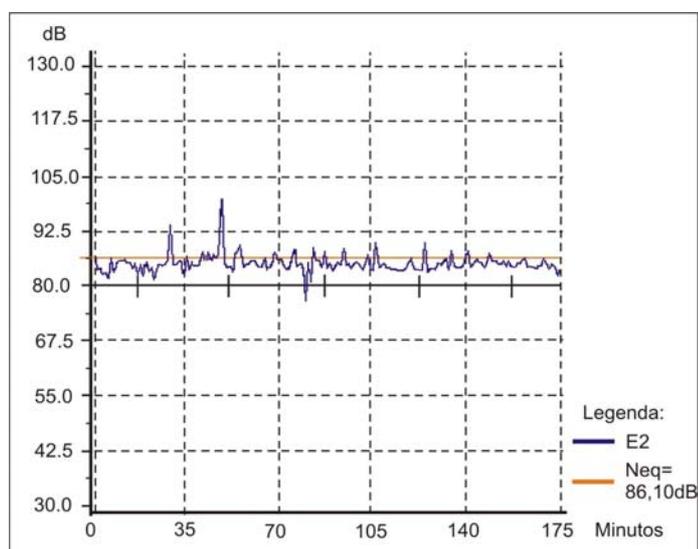


Figura 28 – Variação dos NPS para o operador no posto de trabalho E2 durante 4 horas

O operador no posto E3, localizado a dez metros de distância do setor mais ruidoso, apresentou uma média de 82dB, com um decréscimo de até 69dB, conforme a Figura 29, que traz ainda o $Neq=83,82$ dB, mantendo-se dentro do limite de 85dB estipulado pela NHO-01 e representando 97% da dose diária.

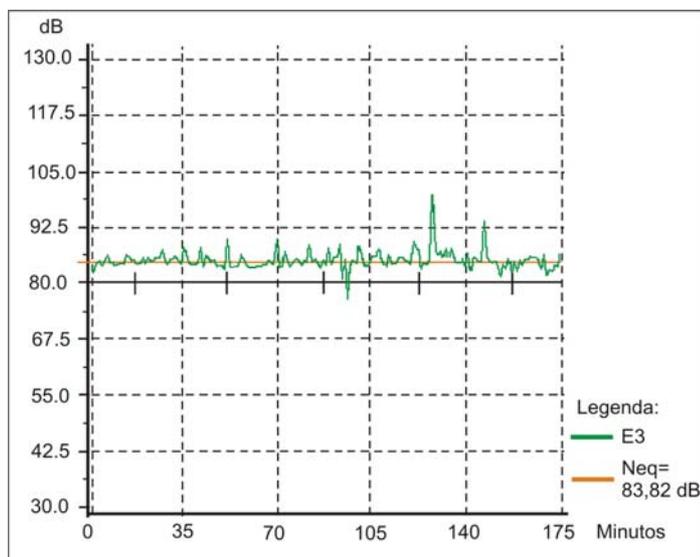


Figura 29 – Variação dos NPS para o operador no posto de trabalho E3 durante 4 horas

Embora a média os resultados obtidos na dosimetria esteja dentro do parâmetro normativo, a representatividade percentual dentro do tempo total de exposição do trabalhador ao ruído comprova a necessidade de intervenção para o controle das fontes e a adequação do ambiente para a redução do ruído.

Com a aplicação do conceito de APO nas visitas exploratórias buscando colher informações sobre a funcionalidade do sistema produtivo, iniciou-se a caracterização do edifício, através da investigação dos procedimentos do gerenciamento em uso no processo, serviço de suporte de gerenciamento, infraestrutura do processo da linha de produção.

5.2. APO e gerenciamento das estações de trabalho

A comunicação foi analisada dentro do ambiente do objeto de estudo, devido à constante necessidade de integração verbal na linha de produção, onde foram registrados elevados índices de NPS. A preocupação com o fator comunicação se deu em razão da retirada do EPI pelos trabalhadores para a melhor compreensão das instruções, expondo o indivíduo ao ruído direto.

As linhas de processo produtivo determinaram da repetição da ação de comunicação entre os trabalhadores nas etapas de processo, segundo a seguinte escala:

 Instrução simples → definida como ações de comunicação rápidas, quando a repetição do ato de retirada do EPI se dá no máximo duas vezes, durando em média 60 segundos, em que a compreensão da nova tarefa é rápida.

 Instrução intermediária → definida como ações de comunicação com repetição entre duas a quatro vezes em média, durando em média 120 segundos, pois o grau de explicação da tarefa é mais lento do que o necessário para a instrução simples.

 Instrução complexa → definida como ações de comunicação ilimitadas, em razão da grande demanda de alternância de ações executivas e da constante orientação dos funcionários, duração em média de 60 segundos.

 Etapas em que há uma caracterização espacial fora da condição ruidosa da linha de produção, em que a ação de comunicação é exercida sem nenhum tipo de comprometimento ao trabalhador.

A caracterização de cada linha de produção focou-se na observação das mudanças de tarefas em todas as etapas. A escala acima descrita representa um único ciclo de transição de tarefas na linha de processo, porém o ciclo durante a jornada de trabalho ocorre inúmeras vezes.

- Fluxograma do processo produtivo de autopeças - baseado na identificação dos níveis de instrução - demonstra com a coloração a necessidade de comunicação ao longo da linha de processo produtivo de autopeças, identificando as seguintes repetições de etapas de instruções, conforme a Figura 30.

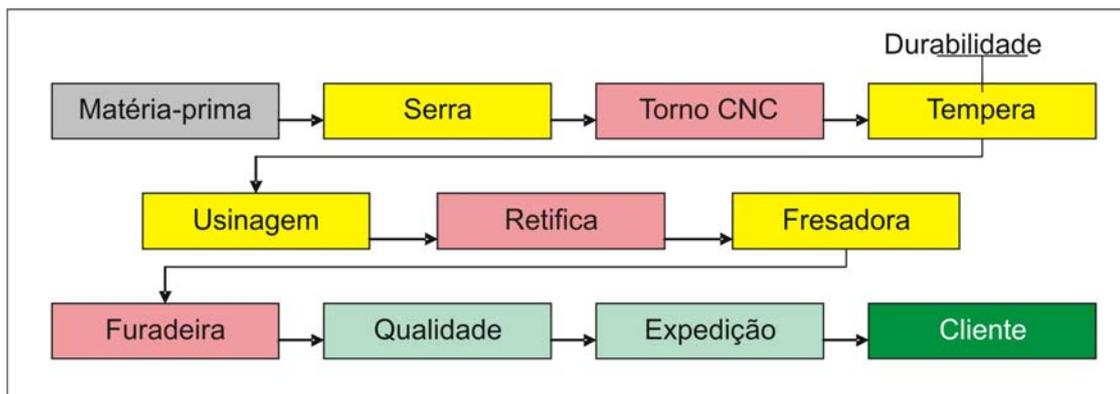


Figura 30 – Repetição da ação de comunicação na linha de produção de autopeças

Na linha de produção de autopeças registraram-se três etapas com incidência de instruções intermediárias de ações comunicativas.

- Fluxograma do processo produtivo de cilindros hidráulicos - baseado na identificação dos níveis de instrução - representatividade da necessidade de comunicação ao longo da linha de processo produtivo de cilindros hidráulicos, demonstrando as etapas de repetições de instruções conforme a Figura 31.

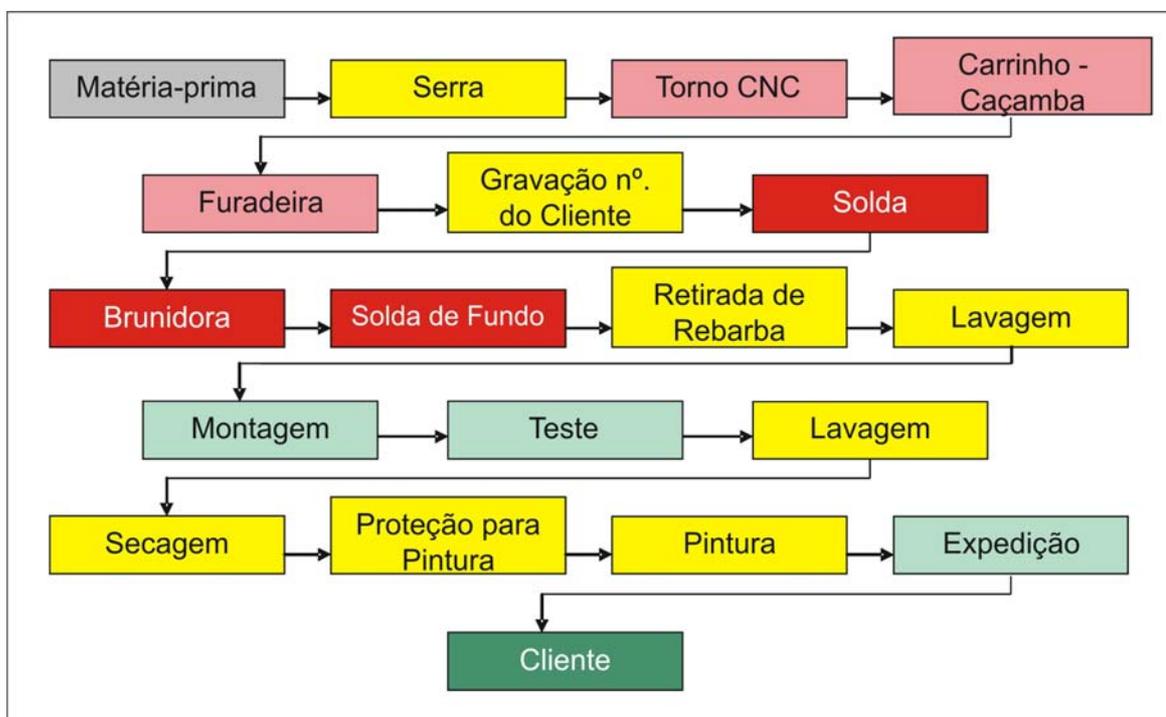


Figura 31 – Repetição da ação de comunicação na linha de produção de cilindros hidráulicos

Na linha de cilindros hidráulicos repetiram-se o registro de três etapas com incidência de instruções intermediárias e também o de três etapas com instruções complexas, em que o ponto de solda foi identificado com maior incidência de ações comunicativas ao longo da jornada de trabalho.

A avaliação do gerenciamento do espaço físico do ponto de vista da necessidade de comunicação nas linhas de processo produtivo, a partir da observação das ocorrências dos fatos dentro da dinâmica das visitas e da conversação com os trabalhadores, permitiu a reunião de dados indicativos ao controle do ruído no ambiente.

Sobrepondo-se os dados levantados ao *layout* do ambiente, obteve-se a representação gráfica para visualizar os pontos mais críticos, ou seja, nos quais aconteceram as instruções complexas, deixando assim o trabalhador por maior tempo exposto ao ruído sem proteção, conforme a Figura 32.

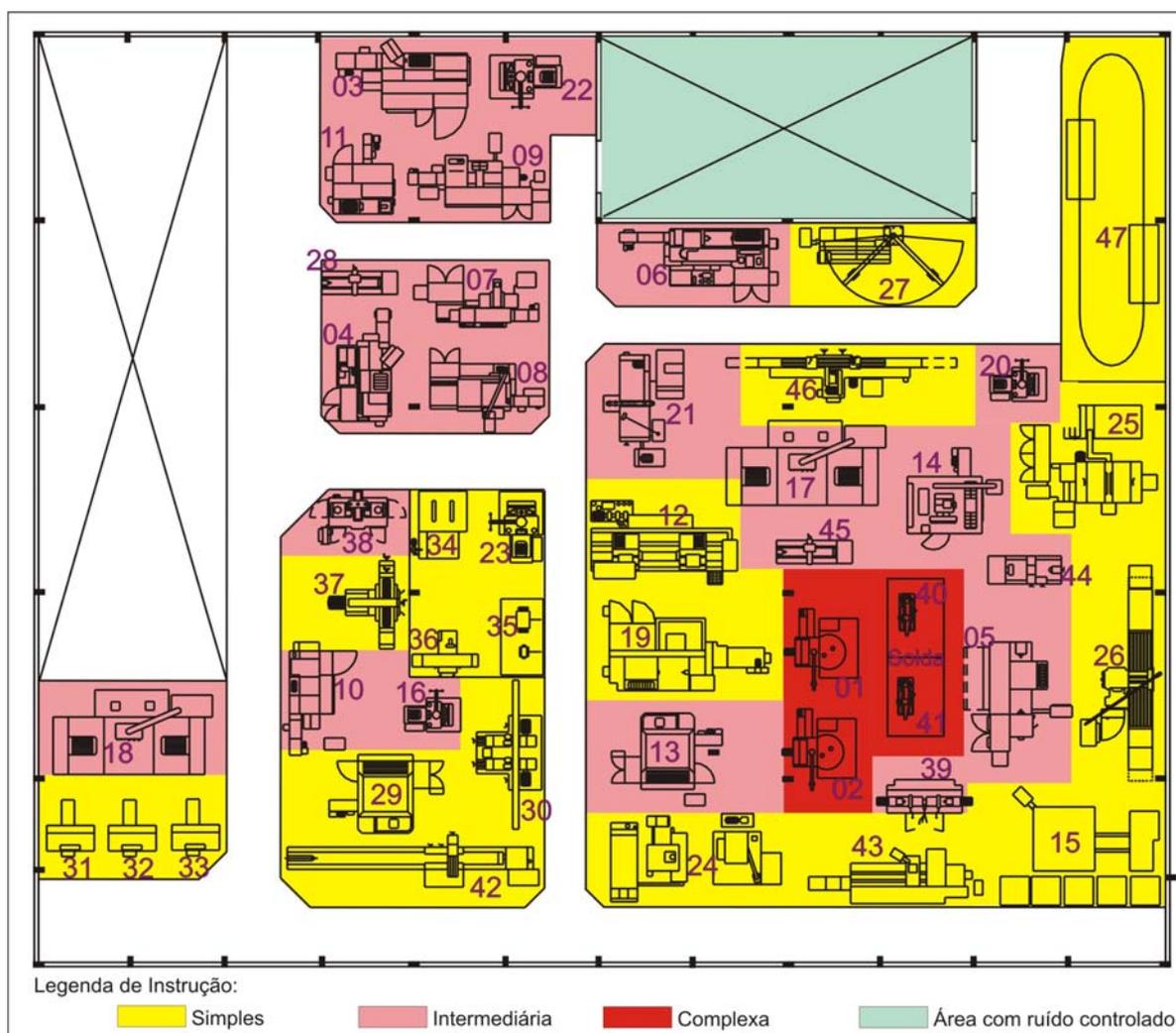


Figura 32 – Mapeamento da comunicação

Com a representação gráfica dos resultados, registrou-se a repetições das instruções dentro do *layout*, observando-se que 9% da área total estão definidos como áreas com ruído controlado (verde); 45% da área registraram-se instruções simples (amarelo); 37% da área apresentaram a ocorrência de instruções intermediária (rosa); em 6% da área total verificaram-se instruções complexas (vermelho).

Na área determinada como de instrução complexa (vermelho), embora com pequena porcentagem de representatividade dentro da linha de produção, a localização da área coincide com uma das áreas de ponto crítico no que se refere à coleta de NPS do mapeamento acústico, conforme a Figura 33.

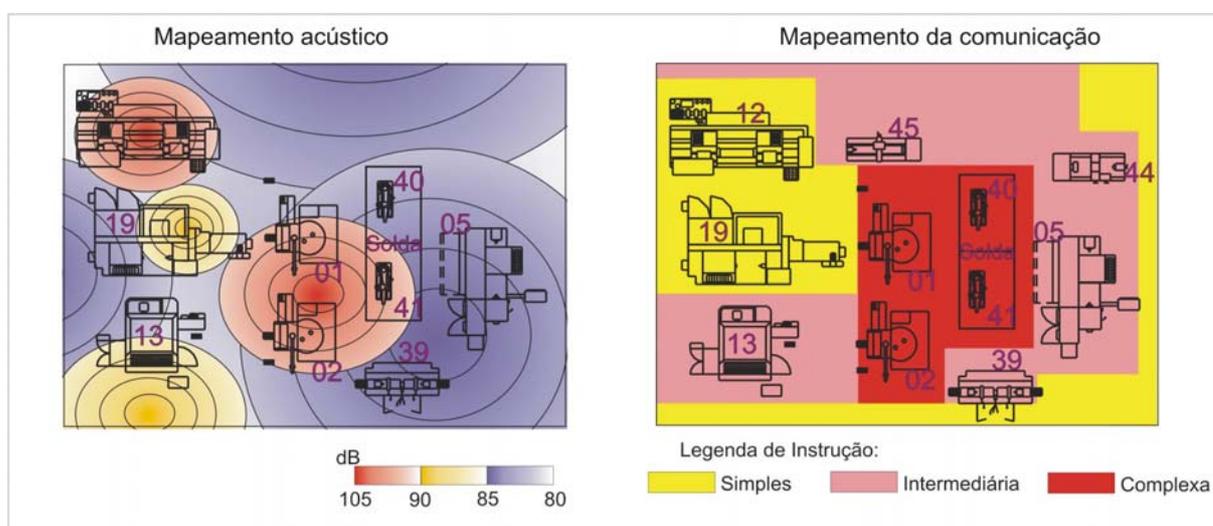


Figura 33 – Comparação do mapeamento acústico com o mapeamento de comunicação

Ao cruzar os resultados do mapeamento acústico com o mapeamento de comunicação, identificou-se um dos setores críticos em índices de NPS como também o setor de maior repetição de instruções dentro do processo produtivo.

A sobreposição de dados resultantes de diferentes levantamentos criou uma melhor identificação da condição real dos pontos críticos do ambiente fabril, já que o setor com maior índice de NPS apontado pelo mapeamento acústico é o mesmo ponto que requer maior integração verbal identificado no mapeamento da comunicação.

5.3. Análise dos resultados diante da discussão da atenuação do ruído

A complementação das características reais do ambiente industrial com medições com a dosimetria e o estudo da comunicação interna nas linhas produtivas permitiu uma análise sobre o resultado sobre as propostas apresentadas no projeto anterior adotado com material de *start* para o presente trabalho.

O foco da investigação foram os dados e a discussão de representatividade dessas ações dentro do ambiente industrial diante da atenuação do ruído, ou seja, a eficácia das propostas e o quão apropriadas foram as adoções de critérios para o desenvolvimento as intervenções.

Nas intervenções voltadas para a atenuação dos NPS produzidos pelo maquinário, o estudo permitiu identificar as principais máquinas emissoras de ruído, em que a diminuição da vibração do corpo metálico causada pelo funcionamento da máquina foi indicada a utilização do *vibra-stop* como artifícios para diminuição da emissão de NPS.

Como dentro da linha de produção há a necessidade de utilização de ar comprimido para a limpeza dos cavacos das peças, que emitem para o ambiente um índice de 110 NPS a cada utilização, foi indicada a inserção de um bocal amplificador de ar (Figura 9), que mantém a mesma operacionalidade para a função, porém possibilita uma atenuação média de 13% do ruído para as baixas, médias e altas frequências, segundo o gráfico de atenuação (Figura 10).

Analisando a atenuação do ruído diante do maquinário, foi levantada a necessidade de criar uma associação de medidas de isolamentos dos motores elétricos das máquinas mais ruidosas (Figuras 7) e dos compressores de ar comprimido (Figura 6), segundo a metodologia de Santos et al. (1994), que faz uso de barreiras físicas para diminuir a emissão para o ambiente.

Nos locais em que as frequências graves têm maior atenuação, havendo, porém, redução na frequência aguda, há indicação de que, com a adição de elementos absorventes no tratamento do ambiente, as barreiras podem ajudar na atenuação da frequência aguda.

Dentro do ambiente industrial, as propostas de intervenção se basearam na inserção de painéis absorventes e ressonadores para possibilitar a redução do TR

calculado, buscando aproximação com o TOR recomendado pela norma NBR-10152 (Tabela 5).

Para verificar o quanto de atenuação pode-se obter com a instalação desses elementos absorventes, buscou-se a relação dos dados técnicos encontrados e definidos pela literatura e pelos fabricantes dos materiais, com a dinâmica real do ambiente.

A atenuação do ruído através do uso de matérias absorventes foi definida pelo fabricante que apresenta o coeficiente de absorção da placa expandida plana de 1,25m x 0,625m, com uma área de 0,78m² e com um coeficiente de absorção de 0,39 para a frequência de 125Hz, 0,78 para a frequência de 500Hz e 0,80 para a frequência de 2.000Hz.

Nos pontos críticos, houve a proposta de instalação de painéis suspensos em variação de altura, funcionando como um filtro de absorção do ruído antes que as ondas sonoras atingissem a cobertura e, assim, o excedente de onda sonora refletida pela cobertura revestida pelas placas fixas.

Para as placas suspensas, foi atribuído o uso de placa expandida flexível nos pontos de maior emissão de NPS, com a dimensão de 1,00m X 0,50m, e uma área de 0,50m² apresenta um coeficiente de absorção de 0,28 para a frequência de 125Hz, 0,74 para a frequência de 500Hz e 1,26 para a frequência de 2.000Hz.

Para complementar a atenuação do ruído, a indicação de instalação de ressonadores que, segundo o gráfico de absorção acústica (Figura 15), um ressonador de dimensões de 0,50m x 0,50m com uma área de 0,25m² apresenta um coeficiente de absorção de 0,50 para a frequência de 125Hz, 0,80 para a frequência de 500Hz e 0,85 para a frequência de 2.000Hz.

A atenuação acústica, com a junção das propostas de instalação de painéis absorventes e dos ressonadores, visou a reduzir o tempo de reverberação da propagação da onda sonora no ambiente.

Apresentando, assim, os resultados mais significantes de atenuação, foram direcionadas as médias e altas frequências, porém a atenuação nas baixas frequências foi expressiva e eficaz, principalmente com o uso dos ressonadores.

Dentro do ambiente, a definição do posicionamento dos elementos absorventes seguiu o critério de acessibilidade para a limpeza dos elementos, já que o objeto de estudo se trata de uma metalúrgica, além do que, com a instalação dos ressonadores nas paredes de vedação, pode ser criada uma identificação visual dos setores com o trabalho de cromatologia para quebrar a monotonia visual.

Mantendo os painéis absorventes em coloração clara e afixados na cobertura para não prejudicar a iluminação, apresentando alguns pontos com painéis suspensos para não influenciar na ventilação do ambiente que já se apresentou muito delicada, evitando assim que intervenções acústicas ajam como obstáculos.

O propósito de atenuação do ruído industrial foi alcançado segundo a implantação das propostas acústicas, garantindo principalmente a redução do tempo de reverberação na linha de produção; porém, questões segundo a metodologia e as diretrizes legais geraram uma reflexão crítica sobre a propriedade aplicativa sobre os resultados. Indagações que fundamentaram a discussão, entretanto não redefinindo a condução do trabalho atual, tiveram, porém a intencionalidade de conduzir um olhar diferenciado para os novos projetos a serem desenvolvidos com o tema acústico industrial.

6. CONCLUSÃO

O recorte feito numa pesquisa anterior que norteou o desenvolvimento deste trabalho, com realização de um procedimento de constatação de eficácia das propostas de intervenção no maquinário e no ambiente, resultou em dados numéricos de atenuação do ruído dentro do ambiente industrial.

Abordando fatores que influenciam para que o ambiente apresente acústica ruim, como a composição do espaço físico por materiais construtivos inaptos à absorção sonora e à falta de diretrizes do conforto acústico para atenuar os NPS e o TR no ambiente de trabalho, esses fatos levantados remetem a uma comprovada relevância, já que no ambiente as intervenções foram realizadas para corrigir esse déficit de absorção sonora.

Na dinâmica das atividades industriais, a relação com o espaço físico que abriga a linha de produção é muito frágil pela falta de preocupação quanto às diretrizes do conforto ambiental - no presente estudo a acústica foi o ponto-chave de investigação.

Especialmente no ramo metalúrgico, o registro de altos níveis de NPS faz com que o trabalhador conviva com a questão do ruído ocupacional em sua rotina de trabalho, criando-se a preocupação quanto à possibilidade do surgimento da PAIR.

Assim, a configuração do espaço físico em relação à preocupação da melhora acústica aponta para mudanças principalmente no rearranjo dos materiais construtivos; porém, como essa ação demanda de uma disponibilidade financeira e organizacional dificulta a aplicabilidade radial das diretrizes, a proposição de inserção de painéis acústicos e ressonadores são mediadas paliativas que minimizam a reverberação interna na linha de produção.

O cálculo do tempo de reverberação que foi aplicado na linha de produção indicou altos níveis de reverberação para as frequências de 125Hz, 500Hz e 2000Hz, com uma diferenciação média de 4,42 segundos, segundo a NBR 10152, que apresenta um gráfico de determinação de TR para as atividades a serem desenvolvidas no recinto fechado.

Embora a norma indique como encontrar o TOR para a atividade industrial, a definição desses dados é muito generalizada, não sendo específico para que tipo de

atividade fabril deve-se aplicar a linha de ponderação acústica, tanto que para a frequência de 125Hz foi preciso aplicar o gráfico de correção segundo a literatura de Marco (1982), que determinou o TOR recomendado para a baixa frequência.

Para uma melhor precisão dos resultados, seria indicada a aplicabilidade de diferenciação e avaliação de frequências; porém, foi uma limitação dentro da pesquisa devida à falta de equipamento e ao tempo limitado que impossibilitou a espera de aquisição dos instrumentos de medição.

O desenvolvimento da pesquisa se restringiu a uma análise baseada em medições instantâneas e em doses aplicadas em alguns trabalhadores em seus postos de trabalho, definindo a caracterização real e a necessidade de intervenção nos maquinários.

Em um trabalho conjunto, foi realizada a caracterização do espaço físico segundo as características dos materiais construtivos, analisando-se principalmente os coeficientes de absorção de cada material.

Sendo assim, foi elaborada uma análise em separado das intervenções feitas sobre o maquinário e o ambiente, o que ajudou a visualizar que as propostas feitas para intervir nas máquinas são pontuais e específicas para cada caso, como a separação dos motores elétricos do corpo da máquina, a instalação de mecanismos de amortecimentos, associando o uso de barreiras rígidas que enclausuram os motores elétricos e a instalação de bicos amplificadores de ar nos bicos de ar comprimido.

Embora paliativa, houve a comprovação da eficácia das propostas sugeridas para atenuação do ruído ocupacional para o edifício industrial da metalúrgica em questão, podendo-se ainda afirmar que para ambientes semelhantes, segundo a realização de tarefas e composição física, essas intervenções são válidas para diminuir o ruído e melhorar a qualidade ambiental, necessitando apenas de adequação segundo as características específicas do espaço físico em questão.

No entanto, para outros tipos de ambientes industriais, a máxima do princípio do estudo acústico pode ser adotada, pois as intervenções estudadas foram propostas uma dinâmica interdisciplinar entre a Engenharia de Produção e a Arquitetura, a qual abordou a questão do ruído de modo mais abrangente, criando

maior integração das ações e diminuindo o risco de interferência em outros aspectos.

A limitação da especialização pode criar intervenções pontuais que apontem uma resolução para o problema focado e desencadeie uma sucessão de acontecimentos que implicam situações desfavoráveis para outros aspectos dentro do ambiente que recebeu a intervenção.

Definiram-se, com a interdisciplinariedade, parâmetros mais específicos quanto à necessidade de atenuação do ruído, o que permitiu avaliar o grau de eficácia dessas ações interventoras, com informações que possam dosar com mais precisão se estas foram satisfatórias e adequadamente dimensionadas.

Ainda é válido ressaltar que a introdução da preocupação acústica para os espaços físicos fabris deve ser adotada no momento da concepção projetual, garantindo a melhor eficácia das diretrizes do conforto acústico, a fim de evitar as medidas paliativas necessárias para melhorar o ambiente. Essa postura de incorporação de preocupação deve ser estendida aos outros itens do conforto ambiental para evitar grandes interferências no ambiente após a ocupação.

Tais dados poderão oferecer embasamento na criação de diretrizes em futuras pesquisas dentro de uma padronização inicial, agregando informações referentes à diferenciação e à avaliação das frequências dentro do âmbito de emissão de NPS da atividade dentro do edifício fabril.

Pode-se também utilizar os conceitos de iluminação, ventilação e ergonomia para trazer uma complementação ao ambiente e fazer do conforto ambiental uma ferramenta completa para a garantia da qualidade de vida do trabalhador, dentro do ambiente fabris já consolidados.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10152 – **Níveis de ruído para conforto acústico**. São Paulo, 1987.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12179 – **Tratamento acústico em recintos fechados**. São Paulo, 1992.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11957 – **Reverberação** – análise do tempo de reverberação em auditórios. São Paulo, 1988.

ALEXANDER, K. **Facilities Management** – theory and practice. E & FN Spon. London, 1996.

ALMEIDA, S. I. C. de, ALBERNAZ, P. L. M., ZAIA, P. A. et al **História natural da perda auditiva ocupacional provocada por ruído**. V. 46, N. 2, Ver. Assoc. Med. Bras., abr./jun. 2000, p.143-158. ISSN 0104-4230. Disponível em: <<http://www.scielo.br>> acessado em 09 de maio de 2007.

ANDRADE, A.I.A., RUSSO, I.C.P., LIMA, Maria L.L.T. **Avaliação auditiva em músicos de frevo e maracatu**. Rev. Bras. Otorrinolaringol., Oct. 2002, V. 68, N. 5, p.714-720. ISSN 0034-7299.

ARAUJO, S. A. **Perda auditiva induzida pelo ruído em trabalhadores de metalúrgica**. V. 68, N. 1, Rev. Bras. Otorrinolaringol, maio 2002, p.47-52. ISSN 0034-7299. Disponível em: <<http://www.scielo.br>> acessado em 09 de maio de 2007.

BARROS, L. C.; SAINT' YVES, J. E. A. **Saúde ocupacional**: considerações a respeito da perda auditiva induzida por ruído e da disfonia. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Curitiba – PR, 2002.

BRASIL, Lei 6.803/80. Dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição, e dá outras providências. 1998. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acessado em: 17 abr. 2007.

BECHTEL, R. B. **Avaliação pós-ocupação**. Trad. José Queiroz Pinheiro. Universidade do Arizona – Departamento de /Psicologia, 1967.

BECHTEL, R. B; MARANS, R. W., MICHELSON, W. (ed.). **Methods in environmental and behavioral research**. New York: Van Nostrand Reinhold Company. 1990.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

_____. **Acústica arquitetônica: Qualidade Sonora em Salas de Audição Crítica - Descrição Detalhada**. CNPQ. Disponível em: <http://www.poli.usp.br/p/sylvio.bistafa/acusarq/acusarq_cnpq.pdf> acessado em 25 junho de 2007.

CAMAROTTO, J. A. **Estudo das relações entre o projeto de edifícios industriais e a gestão da produção**. Tese doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – São Paulo, 1998.

COTTS, D. G. **The facility management – handbook**. 2 ed. AMACON. Broadway – NY, 1994.

CUNNINGHAM, G. T. **Experiences with energy management and control systems in the public schools**. K-12 of Tennessee. American Society of Mechanical Engineers. Publ. By ASME, New York, NY, EUA. 1993.

DE MARCO, C. S. **Elementos de acústica arquitetônica**. São Paulo: Nobel, 1982.

DO VALLE, C. E. **Qualidade Ambiental ISO 14000**. 4 ed. São Paulo: Editora: Senac, 2002.

DIDONÉ, J. A. **Conforto oferecido por diferentes protetores auditivos**. Dissertação – Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Florianópolis – UFS; Florianópolis – SC, 1999.

EGAN, M. D. **Architectural Acoustics**. Ed. MCGRAW-HILL: New York – EUA, 1988.

FACCIN, R. **Sistema informatizado de gerenciamento do ambiente escolar – SIGAE – como instrumento de apoio a melhorias do conforto ambiental**. Tese doutorado, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Faculdade de Engenharia de Civil. Campinas – SP: 2001.

FERNANDES, M. MORATA, T. C. **Estudo dos efeitos auditivos e extra-auditivos da exposição ocupacional a ruído e vibração**. Rev. Bras. Otorrinolaringol., Oct. 2002, V. 68, N. 5, p.705-713. ISSN 0034-7299.

FERREIRA JR, M. **Perda Auditiva Induzida por Ruído: bom senso e consenso.** São Paulo: VK, 1998.

FIORINI, A.C.; NASCIMENTO, P.E.S. **Programa de preservação de perdas auditivas,** In: NUDELMANN, A.A. (org.). **Perda Auditiva Induzida pelo Ruído.** Vol. 2. Rio de Janeiro: Revinter, 2001.

FIORINI, A.C.; SILVA, S.A.; BEVILAQUA, M.C. **Ruído, comunicação e outras alterações.** Saúde Ocupacional e Segurança. V. 26. São Paulo – S.P. 1991, p. 49-60.

FIORINI, A.C. **Conservação Auditiva:** Estudo sobre o monitoramento audiométrico em trabalhadores de uma indústria metalúrgica. 1994. Dissertação (Mestrado Distúrbios da Comunicação) Pontifícia Universidade Católica. São Paulo, 1994.

_____. **O uso de registros de emissões otoacústicas como instrumento de vigilância epidemiológica de alterações auditivas em trabalhadores expostos ao ruído.** 2000. Tese (Doutorado em Saúde Pública). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

GERGES, S. N. Y. **Ruído : fundamentos e controle.** Florianópolis: UFSC, 1992.

GHENO, R. **Sistema de gestão ambiental e benefício para a organização:** estudo de caso em empresa metalúrgica do RS. Dissertação defendida na Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo – RS, 2006.

GONÇALVES, C.G.O. **Programa preventivo voltado ao trabalhador exposto ao ruído.** In: Jornada de Fonoaudiologia da Universidade Metodista de Piracicaba, 4, 1999. Piracicaba – SP. Anais da IV Jornada de Fonoaudiologia da Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba – SP. 1999, p. 22-24.

_____. **O ruído, as alterações auditivas e o trabalho:** estudo de casos em indústrias metalúrgicas de Piracicaba. Tese doutorado. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Faculdade de Ciências Médicas. Campinas – SP. 2003.

_____. **Implantação de um programa de preservação auditiva em metalúrgica:** descrição de uma estratégia. *Distúrbios da Comunicação*, São Paulo, 16(1): 43-51, abril, 2004.

GONÇALVES, C.G.O.; VILELA, R.A.G.; FACCIN, R. **A qualidade do ambiente e a saúde do trabalhador exposto ao ruído: uma proposta de controle de ruído.** Relatório Final do

Projeto de Fundo de Auxílio a Extensão – FAE; (Projeto Mãe). Santa Bárbara d'Oeste. São Paulo. 2005.

GONÇALVES, J.C. S.; DUARTE, D. H. S. **Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino.** V. 6, N. 4, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Ambiente Construído, Porto Alegre, ISSN 1415-8876, p. 51-81 out./dez. 2006.

GUERRA, M. R.; et al **Prevalência de perda auditiva induzida por ruído em empresa metalúrgica.** Revista de Saúde Pública, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br>> acessado em 16 maio 2007.

GUIMARÃES, S. T. de Lima; DACANAL, C. **Arquitetar para viver. Educar para conservar: faces da qualidade ambiental e da qualidade de vida na conservação do meio ambiente.** Vol.1 - n.1/2. Climatologia e Estudos da Paisagem. Rio Claro – SP: 2006, p.20-39.

GRUBE, O. W. **Construcciones para la Indústria:** Selección Internacional. 1ª ed. Barcelona. GUSTAVO GILI, 1972.

HÉTU, R; GUETTY, L; QUOC, H.T. **Impact of occupational hearing loss on the lives of workers.** In: MORATA, T.C; DUNN, D.E. Occupational Medicine: occupational hearing loss. Philadelphia: Honley & Belfus, 10 (3), 1995.

HOFFMAN, A. J. **Integrating environmental and social issues into corporate practice.** In Environment. Abringdon, Carfax Publishing. Jun. 2000.

ILLBRUCK. **Materiais absorventes.** Disponível em: <<http://www.illbruck.com.br/produtos/>> acessado em 20 maio 2007.

ISO 2204 (International Standard Organization) – **Acoustics – Guide to International Standards on the measurement of airborne acoustical noise and evaluation of its effects on human beings,** 1979.

KOOYMANS, R. HAYLOCK, P. **Post Occupancy Evaluation and Workplace Productivity.** Disponível em: <<http://www.antac.org.br>> acessado em 10 mar. 2007.

KOWALTOWSKI, D. C. K.; et al **Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico.** V. 6, N. 2. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ANTAC. Ambiente Construído, Porto Alegre, 2006, p. 07-19. Disponível em: <<http://www.antac.org.br>> acessado em 15 de mar. de 2007.

LUTMAN, M.E. **What is the risk of noise induced loss air 80, 85, 90 dB and above?** Occupational Medicine, 50:274-275, 2000.

MACIEL, M. A. **Sinfonia da arquitetura:** a busca da poética acústica na concepção dos espaços. In: I Seminário Nacional Sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura. Projetar. Nata – RN. 2003.

MACHADO, A. A. **Poluição sonora como crime ambiental.** Disponível em: <<http://jus2.uol.com.br/doutrina/texto.asp?id=5261>> Texto extraído do Jus Navigandi. Acessado em 11 abr. de 2007.

MALCHAIRE, J. **Estratégia para a presença e o controle do risco devido ao ruído.** Universidade Católica de Louvain – Unidade de Higiene e Filosofia do Trabalho. Clos Chapelle-aux-Champs – Bruxelles. 2006. p. 30-38.

MELLO, M. S. de O. **Qualidade de vida no trabalho e motivação.** Disponível em: <<http://www.assevim.edu.br/agathos/2educacao/monica.pdf>> acessado em 25 de jun. de 2007.

MILLS, E. D. **The Modern Factory.** Architectural Press, London, 1951.

NEPOMUCENO, L. X. **Acústica.** Edgard Blucher, São Paulo; 1977.

NHO1 – **Normas de Higiene Ocupacional.** Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído. Procedimento Técnico. FUNDACENTRO, 2001.

Norma Regulamentadora – NR 7 – **Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional** (107.000-2). Portaria 3.214 de 1978.

Norma Regulamentadora – NR 9 – **Riscos ambientais** – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais. Portaria nº. 25, 1994.

Norma Regulamentadora – NR 15 – **Atividades e operações insalubres.** (115.000-6) de 1990.

NUDELMANN, A. A.; et al **PAIR – Perda Auditiva Induzida pelo Ruído.** Bagagem Comunicação, Porto Alegre – RS, 1997.

NUTT, B; McLENNAN, P. **Facility Management** – risks & opportunities. Blackwell Publishing. New Jersey – USA; 2000.

OLIVEIRA, C.G. **Fonoaudiólogo e a questão da saúde e do trabalhador**. Revista Distúrbios da Comunicação, 7(2):135-146, 1995.

ORNSTEIN, S.; ROMERO, M. **Avaliação Pós-Ocupação (APO) do ambiente construído**. São Paulo: Estúdio Nobel Editora USP, 1992.

ORNSTEIN, S.; BRUNA, G.; ROMERO, M. **Ambiente construído & comportamento: a avaliação pós-ocupação e a qualidade ambiental**. São Paulo: Estúdio Nobel Fupam, 1995.

PAYA, M. **Isolamento térmico e acústico**. (edição original: ISBN-84-329-2958-1 CEAC, Barcelona): Plátano Edições técnicas, 1994.

PREISER, W.F.E.; RABINOWITZ H.R.; WHITE E.T. **Post Occupation Evaluation**. Van Nostrand Reinhold Company, NY. 1988

REGAZZI, R.D.; SERVILIERI, K.M.; SARTORELLI, E.;LIMA, L.N. ; FREITAS, E.Q.;BASTOS, D. M. K; REGO, R.D. **O risco de danos auditivos induzido pelo ruído ambiental, substâncias ototóxicas e o nexo causal**. METROSUL IV – IV Congresso Latino-Americano de Metrologia. Foz do Iguaçu, Paraná – BRASIL; 2004.

RESENDE, M. M.; MELHADO, S. B.; MEDEIROS, J. S. **Gestão da qualidade e assistência técnica aos clientes na construção de edifícios**. V CONGRESSO DE ENGENHARIA CIVIL. Juiz de Fora – MG, 2002. Disponível em: <<http://pcc.usp.br>> acessado em 20 jun. 2007.

SABINE, W. C. **Collected papers on acoustics**. New York: Dover, 1964.

SANTOS, U. de P.; MATOS, M P.; MORATA, T C.; OKAMOTO, V A.; **Ruído, Riscos e Prevenção**. São Paulo: HUCITEC. 1994.

SILVA, A.A.; COSTA, E.A. da. **Avaliação da surdez ocupacional**. Revista da Associação de Medicina Brasileira. V. 44, N. 1. ISSN 0104-4230. 1998, p.65-68.

SILVA, L. T.; RODRIGUES, D. S.; RAMOS, R. A. R.; MENDES, J. F. G. **Avaliação de zonas de criticidade acústica**. Instituto Geográfico Português. Disponível em: <http://www.igeo.pt> acessado em 15 jul. 2007.

SILVA, L.F. **Ruído, Ultra-som e Infra-som**. In: MENDES, R. Patologia do trabalho. 2ª ed. São Paulo: Editora Atheneu, 2003.

SILVA, P. **Materiais acústicos absorventes**. In: SILVA, P. Acústica arquitetônica e condicionamento de ar. 4ª ed. Belo Horizonte: Edital Empresa Termo Acústica Ltda. 2002.

SOUZA, R. S. **Evolução e condicionantes da gestão ambiental nas empresas.** REAd. Revista eletrônica de administração, Porto Alegre, v. 8, n. dez 2002, p. 51-70, 2002.

STEWART, A.P. **Comprehensive hearing conservation program.** In: LIPSCOMB, D. M. (org.) Hearing Conservation in Industry, School and the Military. San Diego. Singular Publish, 1996, p. 205-9.

SUTER, A H. **Hearing Conservation.** In: BERGER, E. H et al Noise Hearing Conservation Manual. American Ind Hyg Assoc : 1- 18, Akron, Ohio. 1996.

VIEIRA, I. L. **Ruído e Perda Auditiva.** Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica – CEFAC. Recife – PE, 1999.

VISCHER, J. **Post Occupancy Evaluation: a multifaceted tool for building improvement.** Article. 03. The National Academies Press. Learning from Our Buildings: A State-of-the-Practice Summary of Post-Occupancy Evaluation. 2002. Disponível em: <<http://www.nap.edu/catalog>> acessado em 20 de mar. de 2007.

VOORDT, T. J. M van der. **Productivity and employee satisfaction in flexible workplaces.** Journal of Corporate Real Estate. ISSN: 1463-001X , Volume: 6 Issue: 2 Page: 133 – 148, 2004.

ZIMRING, C. **Post-Occupancy Evaluations and Organizational Learning.** Article 05. The National Academies Press. Learning from Our Buildings: A State-of-the-Practice Summary of Post-Occupancy Evaluation. 2002. Disponível em: <<http://www.nap.edu/catalog>> acessado em 20 de mar. de 2007.

ANEXOS

Anexo 1 – Cálculo do Tempo de Reverberação

Volume do Prédio: 18.000m ³		Coeficientes de absorção (superfícies) ou Absorção dos elementos (α_n)				Absorção em sabines		
Superfície e elementos (S_n)	Área da superfície (m ²) ou quantidade de elementos		Frequências			Frequências		
	A_{Total}	$A_{Considerada}$	125 Hz	500 Hz	2000Hz	125 Hz	500 Hz	2000Hz
Piso de Concreto	2788	2056,39	0,15	0,1	0,06	308,46	205,64	123,38
Paredes Calhetão (cimento)	300	300	0,1	0,12	0,12	30,00	36,00	36,00
Parede de bloco de concreto	753,46	753,46	0,1	0,03	0,07	75,35	22,60	52,74
Paredes divisórias	114,18	100,18	0,24	0,05	0,07	24,04	5,01	7,01
Porta de madeira	1,68	1,68	0,04	0,03	0,03	0,07	0,05	0,05
Porta de metal	1,68	1,68	0,009	0,009	0,009	0,02	0,02	0,02
Porta de vidro	1,68	1,68	0,23	0,09	0,01	0,39	0,15	0,02
Forro PVC	198	198	0,18	0,98	0,5	35,64	194,04	99,00
Laje de concreto	200	200	0,01	0,015	0,02	2,00	3,00	4,00
Cortina de plástico	8,4	8,4	0,25	0,4	0,6	2,10	3,36	5,04
Cortina de lona (solda)	22,5	22,5	0,25	0,4	0,6	5,63	9,00	13,50
Janela de vidro	34,8	34,8	0,35	0,18	0,12	12,18	6,26	4,18
Telha de alumínio	2528	2528	0,009	0,009	0,009	22,75	22,75	22,75
Telha de policarbonato	260	260	0,009	0,009	0,009	2,34	2,34	2,34
Estrutura metálica	250	250	0,009	0,009	0,009	2,25	2,25	2,25
Maquinário	731,61	731,61	0,009	0,009	0,009	6,58	6,58	6,58
Superfície de borracha	100	100	0,04	0,08	0,03	4,00	8,00	3,00
Adulto em pé (unid.)	80	80	0,23	0,38	0,46	18,40	30,40	36,80
Soma de áreas (m ²)	8293,99	7548,38	Absorção total em sabines $\Sigma (S_n * \alpha_n)$			552,19	557,46	418,66
Coeficiente médio de absorção						0,20		
Formula de SABINE						TR = $\frac{0,161 * V}{\Sigma (S_n * \alpha_n)}$		
Tempo de reverberação (seg.)						5,77	5,72	7,61

Anexo 2 - Parâmetros de tempo de exposição aos NPSs

Código	Descrição	Modelo	Frente (dB)	Atrás (dB)	Direito (dB)	Esquerda (dB)	MÉDIA (dB)
1	Brunidora	H518	84	83	85	84	91.0
2	Brunidora	H518	83	85	84	84	91.0
3	Torno CNC	Cos. 30U	78	85	82	83	88.0
4	Torno CNC	ECN 40 II	79	78	80	78	85.0
5	Torno CNC	Cos. 30U	79	80	77	79	84.9
6	Torno CNC	Cos. 10U	78	79	80	78	85.0
7	Torno CNC	LB 15	80	79	78	78	85.0
8	Torno CNC	Cos. 30U	78	77	80	80	85.0
9	Torno CNC	Cos. 30U	80	82	84	78	87.5
10	Torno CNC	LNC-08	79	79	81	79	86.0
11	Torno CNC	LU-15	80	81	80	80	86.0
12	Faceadora	FXLZDI60	90	90	85	86	90.5
13	Torno CNC	Gal. 15S	80	79	83	80	86.8
14	Torno CNC	Gal.30G	79	77	80	81	85.0
15	Tempera		77	81	78	80	85.0
16	Torno CNC	Gal. 15SD	78	80	79	77	85.0
17	Torno CNC	ECN 40 III	79	79	79	78	84.9
18	Torno CNC	GAL 30	78	78	79	78	84.5
19	Fresadora	FU-400	81	80	81	82	88.5
20	Torno CNC	Centur 45	80	79	77	79	85.0
21	Torno CNC	G280	78	78	78	79	85.0
22	Furadeira	KR 40	79	78	78	79	85.0
23	Furadeira	3FC	79	78	80	79	85.5

continua

Código	Descrição	Modelo	Frente (dB)	Atrás (dB)	Direito (dB)	Esquerdo (dB)	MÉDIA (dB)
24	Fresadora	U-30	80	81	79	80	88.5
25	Centro Usinagem	DISC.760	78	80	79	78	84.9
26	Centro Usinagem	V 414	83	85	82	81	89.1
27	Mandrilhadora	T2C	79	78	78	79	85.0
28	Torno Convencional	MKD II	76	80	74	81	84.5
29	Faceadora	Grob	87	81	85	80	91.0
30	Fresadora	VFC 80	79	81	82	83	87.5
31	Serra	Romi	78	79	78	80	85.0
32	Serra	Romi	79	80	78	78	85.0
33	Serra	Romi	78	78	80	79	85.0
34	Retífica	BC 150	78	80	81	80	86.0
35	Retífica	RUV 300	70	73	71	72	80.0
36	Retífica Plana	P-36	79	80	81	80	86.0
37	Fresadora	FU-400	81	80	81	80	87.0
38	Torno Convencional	P 400 II	80	81	80	80	87.0
39	Torno Convencional	S 40	78	79	78	79	85.0
40	Máq. Solda	VI400	79	79	78	80	85.0
41	Máq. Solda	V452	81	80	80	85	90.4
42	Politriz	SM 3900	80	83	82	81	87.7
43	Fresadora	U-30	78	78	79	78	85.0
44	Torno Convencional	I 30	80	81	82	80	87.3
45	Torno Convencional	IH-40A	79	78	79	78	85.0
46	Fresa	Universal	78	79	79	78	85.0
47	Pintura		77	78	78	78	83.5